



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH AUTOMATICKÉHO LISU

DESIGN OF AUTOMATIC PRESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miroslav Ujčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Omes, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Miroslav Ujčík**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Omes, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh automatického lisu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh koncepce automatizovaného lisu, který je součástí pracoviště na lisování 'tulipů' na plastových trubkách. Pracoviště bude vybaveno průmyslovými roboty, které zakládají a vyjímají extrudované plastové trubky.

Cíle diplomové práce:

Představení a analýza současného výrobního procesu.

Rozbor kinematiky.

Návrhové a kontrolní výpočty.

Výkresová dokumentace.

Vyhodnocení dosažených výsledků

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. Konstrukce tvářecích strojů, Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. ISBN 978-80-261-0513-8.

KAMELANDR, Ivan. Tvářecí stroje I. Brno: VUT FS v Brně, 1989, ISBN 80-214-1037-X.

KAMELANDR, Ivan. Tvářecí stroje II. Brno: VUT FS v Brně, 1989, ISBN 80-214-1038-8.

NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje. Brno: VUT FSI v Brně, 2002.

STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-738-6.

RUDOLF, Bedřich. Výrobní stroje a zařízení II. Praha: ČVUT Praha, 1990.

DRASTÍK, František. Výpočty z oboru kování a lisování. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1972

ŠTRBA, Marián a Jiří JANOUŠ. Tvářecí stroje – Všeobecné technické požadavky: československá státní norma ČSN 21 0001: schválena listopad 1996. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1996.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem lisu, který bude součástí robotizovaného pracoviště. Toto pracoviště je navrženo pro firmu působící jako subdodavatel pro automobilový průmysl, pro kterou je automatizace jedním z nejdůležitějších procesů vývoje a zvyšování produktivity práce. Robotizovaná buňka je součástí linky na tepelné zpracování polotovarů plastových trubek. Samotná buňka slouží k lisování kuželového rozšíření konců trubek pomocí ocelového trnu. Za účelem manipulace s díly jsou v diplomové práci navrženy odpovídající koncové efekторы robotů, které bezpečně zakládají a vyjímají díly z automatizovaného lisu. Návrhové a kontrolní výpočty jsou doplněny o pevnostní analýzy metodou konečných prvků v programu Solidworks. V tomto programu je rovněž vyhotovena výkresová dokumentace. Práce je provedena s ohledem na požadavky technologů a oddělení kvality.

ABSTRACT

The master's thesis deals with the design of a press, which will be part of a robotic workplace. This workplace is designed for a company operating as a subcontractor for the automotive industry, for which automation is one of the most important processes of development and increasing labor productivity. The robotized cell is part of a line for heat treatment of plastic tube semi-finished products. The cell itself is used to press the conical extension of the pipe ends using a steel mandrel. In order to manipulate the parts, the corresponding end effectors of robots are designed in the work, which safely load and remove parts from the automated press. Design and control calculations are supplemented by finite element strength analysis in Solidworks. A drawing documentation is also made in this program. The work is performed with regard to the requirements of technologists and the quality department.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotizovaná buňka, kuželové rozšíření trubek, optimalizace zmetkovitosti, automatizace, zvýšení produktivity, bezpečnost pracoviště

KEYWORDS

Robotized cell, conical pipe ends expanding, optimization of scrap, automation, increased productivity, workplace safety.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

UJČÍK, Miroslav. *Návrh automatického lisu*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132334>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Úvodem bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Omesovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky a za odborný dohled při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji kolegům z firmy FRAENKISCHE CZ s.r.o., kteří se podíleli na vývoji zařízení a za jejich součinnost při řešení dílčích problémů. Děkuji také vedoucím pracovníkům FRAENKISCHE CZ s.r.o., kteří mi umožnili zpracovávat tuto diplomovou práci.

Velké poděkování patří také všem vyučujícím, kteří nám v průběhu studia předali znalosti a zkušenosti získané dlouholetým studiem přednášené problematiky. Zároveň bych také chtěl poděkovat rodině a své manželce za podporu během studia a při psaní závěrečné práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením pana Ing. Jiřího Omese, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Bc. Miroslav Ujčík

OBSAH

1	ÚVOD	17
2	PŘEDSTAVENÍ FIRMY A STÁVAJÍCÍHO VÝROBNÍHO PROCESU	19
2.1	Představení firmy	19
2.2	Představení výrobního procesu	21
2.2.1	Struktura výroby	21
2.2.2	Extruze	21
2.2.3	Termo-tvarování	22
2.2.4	Montáž	24
2.3	Rešerše – stroje na rozšiřování konců trubek	24
2.3.1	Technologické postupy rozšiřování konců trubek	24
2.3.2	Firmy zabývající se výrobou strojů na lisování konců trubek	26
2.3.3	Shrnutí rešerše	27
2.4	Popis současného tulipovacího stroje (lisu)	27
2.4.1	Konstrukce lisu	27
2.4.2	Pracovní postup lisování trnů	29
3	ANALÝZA PROJEKTU A VÝBĚR VHODNÉHO KINEMATICKÉHO USPOŘÁDÁNÍ STROJE	31
3.1	Požadované parametry nového lisu	31
3.2	Rozbor kinematiky současného lisu	32
3.3	Návrh kinematiky nového automatického lisu	33
3.3.1	1. Varianta	33
3.3.2	2. Varianta	35
3.3.3	Multikriteriální analýza	36
3.4	Diskuse - výběr vhodného kinematického řešení	37
4	DETAILNÍ NÁVRH MECHANISMU LISU A ŘÍZENÍ	39
4.1	Podsestava fixace	39
4.1.1	Čelisti	39
4.1.2	Uložení lineárního vedení a čelistí	40
4.1.3	Pneumatický mechanismus uzavírání čelistí	40
4.2	Podsestava lisování	41
4.2.1	Tělesa pro trny, jejich dorovnání a zafixování	41
4.2.2	Pneumatický pohon lisování	42
4.3	Pracovní deska	43
4.4	Rám s komponenty	44
4.5	Elektro/pneumatická instalace	44
4.5.1	Čidla pneumatických válců	44
4.5.2	Senzory zakládání trnů	45
4.5.3	Proporcionální ventily	45
4.5.4	Spouštění výrobního procesu	45
4.5.5	Ovládací panel	46
4.5.6	Elektroinstalace	46
4.5.7	Přívod stlačeného vzduchu, ventilový terminál, násobič tlaku	46
5	KONSTRUKCE LISU	49
6	NÁVRHOVÉ A KONTROLNÍ VÝPOČTY	51
6.1	Síla potřebná k zalisování trnu	51

6.1.1	Experimentální zjištění potřebné síly	51
6.1.2	Kontrola pneumatického válce jako pohonu lisování	53
6.2	Určení potřebné síly fixace	53
6.2.1	Zjištění koeficientu tření (trubka – čelist s diamantovým povrchem)	53
6.2.2	Výpočet síly fixace s ohledem na koeficient tření	54
6.3	Sestava fixace	54
6.3.1	Pneumatický pohon fixace	54
6.3.2	Čepy	58
6.3.3	Páka	60
6.3.4	Čelisti	61
6.3.5	Lineární vedení	61
6.4	Sestava lisování	63
6.4.1	Lineární vedení lisování	63
6.4.2	Podkova	66
6.4.3	Pneumatický pohon dorovnání trnů	66
6.4.4	Drážkování	67
6.5	Pneumatický systém	68
6.5.1	Násobič tlaku	68
6.5.2	Zásobník stlačeného vzduchu	69
7	VIZUALIZACE LISU	73
7.1	Vizualizace pracovního cyklu, vývojový diagram	73
7.2	Časový harmonogram pracovního cyklu lisu	75
7.3	Výroba, montáž a oživení automatického lisu	78
7.3.1	Navržený lis	78
7.3.2	Vyrobený lis	79
7.4	3D zobrazení operace lisování	80
8	IMPLEMENTACE LISU DO ROBOTIZOVANÉ BUŇKY	83
8.1	Návrh layoutu robotizované buňky	83
8.2	Automatická výměna nástrojů fixačního mechanismu	84
8.2.1	Návrh chapadla	84
8.2.2	Pneumatický pohon zdvihu čelistí	84
8.2.3	Pneumatická chapadla	85
8.2.4	Návrh manipulátoru	86
8.2.5	Ověření servomotoru	86
8.3	Robotizované zakládání a vyjímání trubek	87
8.3.1	Rozvržení dopravníku	87
8.3.2	Návrh koncových efektorů	88
8.3.3	Výběr robotů	91
8.4	Modelace zásobníků trubek	92
8.5	Vizualizace robotizovaného pracoviště	93
8.6	Předpokládaný takt výroby robotizovaného pracoviště	94
9	BEZPEČNOSTNÍ PRVKY A ANALÝZA RIZIK	97
9.1	Bezpečnostní prvky lisu	97
9.1.1	Krytování	97
9.1.2	Spínání výrobního cyklu	98
9.2	Bezpečnostní prvky navrhované robotizované buňky	98
9.2.1	Oddělení výrobního prostoru od obsluhy	98
9.2.2	Elektrické bezpečnostní prvky	98
9.3	Analýza rizik	99

10	VYHODNOCENÍ EKONOMIČNOSTI PROJEKTU.....	103
11	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ PRO PRAXI.....	105
12	ZÁVĚR	107
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	109
14	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	113
14.1	Seznam zkratek	113
14.2	Seznam tabulek	118
14.3	Seznam obrázků	118
15	SEZNAM PŘÍLOH	123

1 ÚVOD

Automatizace a robotizace patří mezi neustále se rozvíjející oblasti průmyslu. Významně toto platí především pro oblast automotive, kde jsou nároky jedny z nejvyšších. Automobil je složen přibližně z 20 000 součástek. I při maximálních požadavcích na kvalitu a testování jednotlivých dílů je přibližně každé páté auto zmetek. Právě automatizace výroby a procesů je způsob jak zvýšit konkurenceschopnost, snížit náklady na reklamací, snížit náročné požadavky na obsluhu a manipulaci a přispět tak k bezpečnějšímu a ergonomickému pracovišti. V automotive platí, že poměrně velká část komponentů je vyráběna subdodavateli, příkladem této synergie je předložená práce, která se zabývá návrhem automatické výrobní linky ve spolupráci s firmou FRAENKISCHE CZ, s.r.o. která působí ve zmíněném oboru.

Návrh a konstrukce průmyslových automatů je specifickou oblastí průmyslu, kde do jisté míry neplatí všeobecné principy navrhování a posuzování strojů. Jak z názvu jednoúčelového stroje vyplývá, jedná se o stroj určený k jedné činnosti a každý navržený a vyrobený stroj je unikátní. Při návrhu stroje jsou kladeny poměrně značné požadavky na konstruktéra, který v mnoha případech nemůže vycházet z léty prověřených a otestovaných konstrukcí. Do velké míry je také limitován časem na vývoj, financemi a požadavky zadavatele. Krom toho stroj musí splňovat bezpečnostní prvky, být co možná nejjednodušší na montáž a oživení a musí mít všechny předepsané náležitosti pro provoz ve výrobním závodě. U stroje je vyžadováno, aby byl funkčně navržen na první pokus a to i s tím omezením, že většina částí a konstrukčních uzlů nebývá podrobena pevnostním analýzám a konstrukčním výpočtům. Obvyklým přístupem k návrhu je lehce naddimenzovaný stroj, u kterého je zanedbána optimalizace komponent za účelem zkrácení času návrhu na minimum. Čas strávený optimalizací dílů v případě jednoúčelových průmyslových automatů není dostatečně vyvážen jeho přínosem.

Diplomová práce je rozdělena na několik částí. V úvodu je popsán princip výroby, na který navazuje návrh automatického lisu, u kterého jsou i přes výše popsané skutečnosti provedeny návrhové a kontrolní výpočty nejvíce namáhaných částí. Celá práce pokračuje implementací navrženého lisu do robotizovaného pracoviště, které mimo jiné sníží možné nebezpečí poranění obsluhy a zvýší takt linky. V závěru práce je popsána analýza rizik a ekonomický propočet projektu, na které navazuje zhodnocení dosažených výsledků a doporučení pro praxi.

2 PŘEDSTAVENÍ FIRMY A STÁVAJÍCÍHO VÝROBNÍHO PROCESU

2.1 Představení firmy

FRAENKISCHE je společnost zabývající se inovacemi, vývojem a výrobou v oblasti trubkových systémů pro odvodňování, elektrická zařízení, stavební technologie, automotive a průmyslové aplikace. Firma byla založena v roce 1906 v Německu s prvotním názvem Fränkische Isolierrohr - und Metallwarenwerke Gg. Schäfer & Cie. V roce 1977 byla firma přejmenována na FRÄNKISCHE Industrial Pipes GmbH & Co. KG a tento název již firmě zůstal. Pro českou pobočku, která se nachází v Okříškách na Vysočině, se používá oficiální označení FRAENKISCHE CZ, s.r.o. Firma v současné době zaměstnává na 4 500 pracovníků ve 22 pobočkách po celém světě, z čehož přibližně 900 zaměstnanců je právě z České republiky. [1]

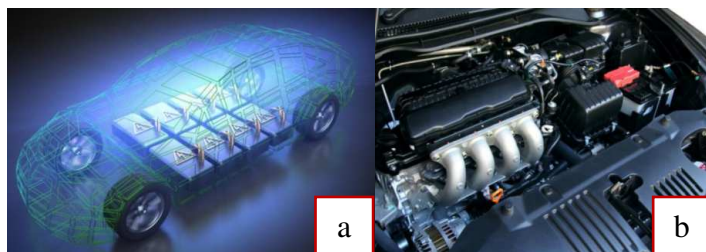


Obr. 1) Oficiální logo firmy Fraenkische [1]

Odvětví, kterými se společnost FRAENKISCHE CZ s.r.o., zabývá:

- Drenážní systémy;
- Elektrické systémy;
- Stavební technologie;
- Automotive;
- Průmyslové aplikace.

Pobočka výrobního závodu v Okříškách se specializuje na odvětví **automotive**, ke kterému bude celá práce vztažena. Divize automotive se zabývá vývojem a výrobou širokého spektra produktů, které jsou vidět téměř ve všech vyráběných automobilech. Ať už se jedná o přívod vody k ostřikovačům, chlazení baterií, viz Obr. 2 a), přívod vzduchu do sání, ventilace palivových nádrží nebo rozvod ostatních médií, viz Obr. 2 b). Majoritou jsou v této oblasti technicky komplikované korugované trubky a kompaktní systémy včetně ochranného vedení.



Obr. 2) a) Autobaterie uložené v podlaze b) Rozvody médií spalovacího motoru [1]

Pobočka v Okříškách se specializuje na vývoj a výrobu komponentů pro zákazníky, ke kterým patří např. BMW, Audi, Ford, Porsche, Škoda a další. Kabelové ochrany, které jsou jedním ze tří hlavních zaměření divize automotive, slouží k ochraně elektroinstalace před vysokými teploty, proti vlhkosti, před účinky silového namáhání a mechanickým poškozením.

Za tímto účelem se vyrábějí extrudované plastové trubky v průměrech od 3 mm až do průměrů 50 mm. Tyto trubky jsou mechanicky odolné a schopné vystát v některých případech teploty od - 200°C až do 300°C. Jako základní materiál pro výrobu kabelových ochran se používá široká škála termoplastů. Následující tabulka popisuje několik vybraných materiálů, které jsou řazeny na základě teplotní odolnosti od nejméně teplotně odolného PE až po vysoce odolný termoplast s označením HF-CL.

Tab 1) Max. pracovní teploty používaných materiálů [1]

Materiál	Pracovní teplota
PE	80°C
PP	105°C
PA6	120°C
TPE	150°C
PFA	260°C
HF-CL	300°C

Na následujících obrázcích jsou znázorněny kabelové ochrany včetně T-spojky Obr. 3 a) a úhlových konektorů Obr. 3 b). Těsné spojení ochrany a konektoru zajišťuje izolované a funkční zapojení elektroinstalace, např. v automobilech, transportních a stavebních strojích, ale také zemědělských zařízeních.



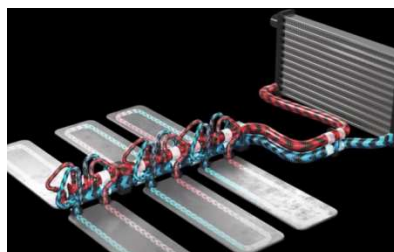
Obr. 3) a) T-spojka kabelových ochran b) Konektor s kabelovou ochranou [1]

Druhým, významným zaměřením v oblasti automotive, je výroba potrubí na rozvod tekutin. Jedná se o palivové systémy, vzduchové systémy, ostřikovací systémy, rozvody chladicích a brzdových kapalin. Za tímto účelem se používají jak hladké, tak korugované trubky, u kterých jsou prováděny tlakové zkoušky stlačeným vzduchem a následné vyhodnocení těsnosti. Příklad brzdových systémů je na Obr. 4 a), kde je vidět využití hladké trubky. Na Obr. 4 b) je pak vidět široké spektrum komponentů využívaných při ventilaci palivových systémů. Základní materiál jak pro brzdové systémy, tak i palivové systémy je nejčastěji PA12, který odolá teplotám do 120°C.



Obr. 4) a) Brzdové systémy b) Palivové systémy [1]

Posledním odvětvím, kterým se zabývá divize automotive, je Thermal Management. Jedná se o řízení teplotních toků u elektrických a hybridních vozů. Účinnost litium-iontových baterií v elektromobilech je menší, než 100 % a dochází tudíž k maření energie v podobě tepla. V případě, že jsou baterie chlazeny a ohřívány správně, výkonnost v čase výrazně neklesá a poškození baterií vlivem teplotních změn je minimalizováno. Příklad chladicího systému baterií je na Obr. 5) včetně teplé a studené větve celého systému. Trubky chladicích systémů jsou konstruované z 2 – 5 vrstev, obvykle z materiálu PA6 a PA12. [1]



Obr. 5) Chlazení baterií – modře přívod chladného média, červeně odvod ohřátého média [1]

2.2 Představení výrobního procesu

2.2.1 Struktura výroby

Proces výroby bude stručně představen na jednom zvoleném produktu. Tento díl je interně označen číslem 41302726, zjednodušený výkres dílu je k vidění v příloze P1. Základní trubka je zobrazena na Obr. 6). Tento díl prochází všemi úseky výroby, které lze rozdělit na tři hlavní, které obsahují další podružné operace: [2][3][4]

- **Extruze;**
- **Termo-tvarování;**
- **Montáž.**



Obr. 6) Základní trubka vzorového dílu [2]

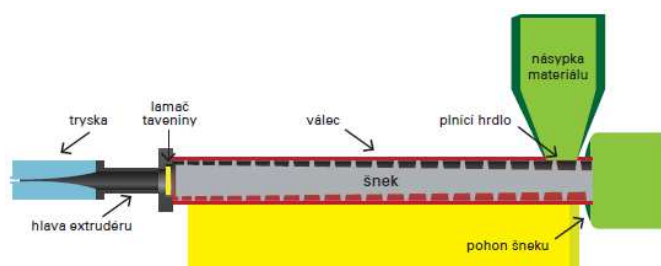
Před samotným procesem výroby prochází díl projektovým a konstrukčním oddělením. Po odsouhlasení designu dílu zákazníkem pokračuje fáze vývoje výrobních nástrojů. Konstrukce extruzních, termo-tvarovacích i montážních nástrojů probíhá v závodě v Okříškách. [2]

2.2.2 Extruze

Extruze je společně s vstřikováním jednou z nejrozšířenějších způsobů zpracování plastů. Slouží převážně k výrobě trubek, hadic, tyčí, strun, profilů (např. typu U, L), nebo složitých profilů, jako jsou vícekomorové okenní rámy. Na rozdíl od technologie vstřikování je proces extruze kontinuální a výrobek je nekonečný, resp. konečné podoby výrobku se dosáhne dělením (řezáním nebo sekáním).

Tělo extrudéru Obr. 7) je ohříváno topnými tělesy uspořádanými do topných zón. Ve válci je šnek, který je poháněn elektromotorem. Pro přesnou regulaci teploty válce jsou jednotlivé topné zóny osazeny ventilátory pro chlazení. Na výstupu extrudéru je příruba pro

nasazení extruzní hlavy, kterou je roztavený materiál vytlačován. Granulát je otáčejícím se šnekem odebírán a tlačén šroubovicí šneku směrem k extruzní hlavici. Těsně pod násypkou je šroubovice se stabilním rozměrem, která má pouze odebírací funkci Obr. 8). Dalším stupněm je kompresní zóna šneku, kde dochází k tavení materiálu. Tavení materiálu je docíleno zvětšujícím se průměrem středu šneku, dochází k velkému nárůstu tlaku a tření, které generuje teplo. Takto generované teplo taví granule a přeměňuje je na taveninu. Vyhřívání válce plní spíše pomocnou funkci a slouží hlavně k regulaci a stabilizaci teploty materiálu. 40 % až 90 % (v závislosti na druhu šneku a materiálu) tepelné energie potřebné k roztavení materiálu pochází z mechanické energie otáčejícího se šneku. Na konci šneku šroubovice přechází opět do stabilního rozměru a plní výstupní, vytlačovací funkci.



Obr. 7) Schéma extrudéru [2]

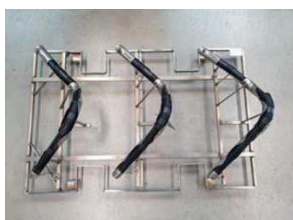


Obr. 8) Šnek extrudéru s rozšiřujícím se středem [2]

Roztavený plast je vytlačován z extrudéru přes vyhřívanou extruzní hlavici, která je osazena tvarovacím nástrojem - korugátorem. Tvarování musí proběhnout před tím, než teplota vytlačeného plastu klesne. Zchlazený plast již není tvárný a má stabilní rozměry podle druhu plastu a podmínek zpracování. Po několika hodinách až dnech probíhá dodatečné smrštění materiálu. Toto smrštění se pohybuje v nízkých jednotkách procent. [2]

2.2.3 Termo-tvarování

Pro vytvarování trubky do požadované podoby se používají tvarovací formy, na kterých jsou umístěny tzv. kavity Obr. 9). Tvar těchto kavit je definován zákazníkem a vychází z požadavku na konečný tvar výrobku. Některé díly jsou upraveny pomocí tzv. narážecích trnů, které upravují konec trubky (rozšíření, tulip¹). Detailně je toto zařízení popsáno v kapitole 2.4. **Návrhem nového zařízení na lisování tulipů se bude tato práce zabývat.**

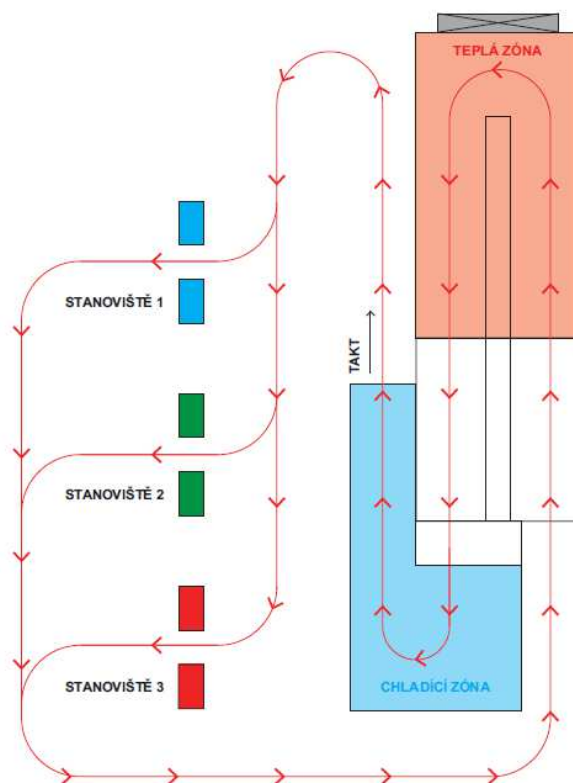


Obr. 9) Trubky zapletené do kavit [3]

¹**Tulip** - Kuželovité rozšíření konce trubky, které slouží především pro usnadnění následné montáže konektorů a spojek.

Zapletené trubky prochází procesem termo-tvarování (Obr. 10). Ten v první fázi představuje ohřev na požadovanou teplotu, která je dána typem materiálu. V druhé fázi tvarování dochází k prudkému zchlazení.

Pracovní cyklus termo-tvarovacích pecí je náročný na obsluhu, protože pohyb závěsných kavit je nepřetržitý. Celá operace zaplétání musí být dostatečně rychlá, aby nenarušovala chod linky. V každém okamžiku se část linky nachází uvnitř pece, v případě zastavení linky by došlo k znehodnocení tvarovaných dílů.



Obr. 10) Pracovní cyklus tvarovací pece [3]

Výsledný produkt tvarovací operace je zobrazen na následujícím obrázku. Základním materiálem tohoto výrobku je Polyamid 612 (PA 612). Teplota tání PA 612 je v rozmezí 212°C - 217°C. Velmi ceněnou vlastností je nízká teplota křehnutí. Suchý vzorek křehne při mínus 126°C. PA 612 odolává řadě olejů, rozpouštědům a alkáliím. Při relativní vlhkosti 50 % a teplotě 23°C je sorpce vody o polovinu nižší než např. PA66 (1,2 %), což zaručuje jeho dobrou rozměrovou stabilitu. [3]

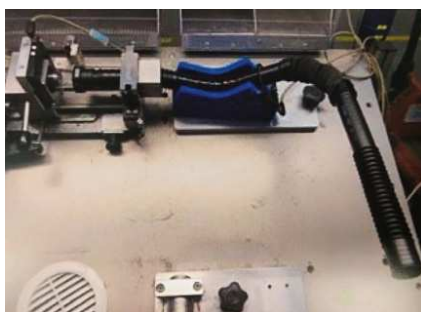


Obr. 11) Výrobek po procesu termo-tvarování [3]

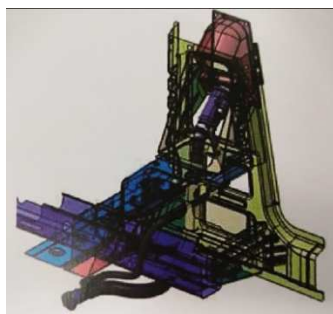
2.2.4 Montáž

Poslední výrobní částí je montáž. Vzorový díl bude po dokončení montážní operace sloužit v automobilu jako součást palivového vedení. Nejedná se ovšem o vedení paliva, nýbrž AdBlue kapaliny, která je vstřikovávána do výfukových plynů vznětových motorů ke snížení emisí. [4][5]

Jak je vyobrazeno na výkrese dílu v příloze P1, díl obsahuje dvě ochrany, které se navlékají ručně a slouží k zamezení mechanického nebo tepelného porušení plastové trubky. Lisování konektoru je následně provedeno pomocí pneumatického pohonu, který je vybaven měřením síly a správná pozice (natočení konektoru vůči trubce) je z podstatné většiny řešena pomocí 3D bloků, které jsou poměrně levné a rychlé na výrobu Obr. 12). Po takto provedené montáži některé díly pokračují na talkové zkoušky a jejich vyhodnocení, ale tato operace již není u vzorového dílu vyžadována. Zástavba dílu v karoserii je zobrazena na Obr. 13) [4]



Obr. 12) Orientovaná trubka při lisování konektoru [4]



Obr. 13) Zástavba dílu v karoserii [4]

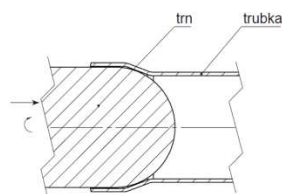
2.3 Rešerše – stroje na rozšiřování konců trubek

Rozšiřování konců trubek je technologickou operací tváření, při které dochází k plastické deformaci opracovávaného výrobku a výstupem operace je zvětšení příčného průřezu dutého tělesa. [6]

2.3.1 Technologické postupy rozšiřování konců trubek

Na výrobu kuželového rozšíření hrdla trubek se používá několik různých technologií. Jako základní by se daly zmínit technologie, které využívají speciálních trnů. Jedná se o rozšíření rotujícím trnem, kde za složeného pohybu rotace a posuvu trnu dochází k rozšíření hrdla trubky Obr. 14). Dále pak lisování trnů do trubky Obr. 15), popř. využití radiálních čelistí Obr. 16), které se mohou radiálně rozšiřovat v ose opracovávaného tělesa. Každá z těchto metod má své výhody a nevýhody. V následujících odstavcích jsou zmíněny zásadní rozdíly. [6][7][8]

Rotující trn



Obr. 14) Schéma rotujícího trnu [9]

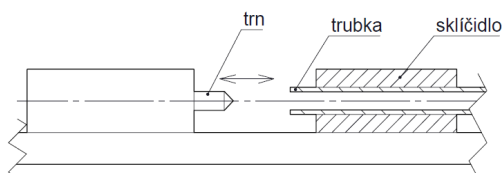
Výhody

- Konstrukčně jednoduché
- Snadná manipulace
- Pro všechny průměry trubek

Nevýhody

- Ne příliš vhodné pro sériovou výrobu
- Nižší kvalita opracovaného hrdla
- V některých případech nutné mazání trnu

Lisování trnu



Obr. 15) Schéma lisovaného trnu [8]

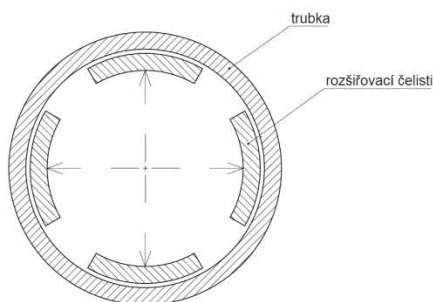
Výhody

- Jednoduchá manipulace
- Konstrukčně prosté
- Poměrně vysoká kvalita hrdla
- Vhodné pro sériovou výrobu

Nevýhody

- Nutnost měnit trn dle průměru trubky
- Nezbytné měnit čelisti dle průměru trubky
- Velká síla v axiálním směru

Radiální čelisti



Obr. 16) Schéma radiálních čelistí [9]

Výhody

- Pro materiály s větším přetvárným odporem
- Menší potřebná upínací síla

Nevýhody

- Složitější konstrukce
- Nutnost vyvození rotačního pohybu

2.3.2 Firmy zabývající se výrobou strojů na lisování konců trubek

První z výčtu firem zabývajících se tvářením konců trubek je firma Likest. Předmětem činnosti této firmy je zejména zpracování kovových trubek. K pohonu vlastních tvářecích strojů využívá především hydraulických systémů. Příklad stroje na rozšiřování konců trubek s názornou ukázkou konstrukčního řešení je zobrazen na následujícím obrázku. Tento stroj využívá čtyř tvarových trnů, kterými je postupně rozšiřováno hrdlo trubky do požadovaného tvaru. Fixace trubky, v tomto případě již tvarované s ohybem, probíhá dvojicí čelistí, kde spodní čelist je nepohyblivě uložena na rámu stroje a horní čelist je přesouvána do pracovní polohy přímočarým hydromotorem. [11]



Obr. 17) Lisování konců trubek strojem firmy Likest [11]

Druhá firma, která bude zmíněna v rešeršní části, je firma BLMA. Tato společnost opět nabízí tvářecí stroje na konce trubek s hydraulickým pohonem obou pracovních částí – fixování a lisování trnu. Jako vzor je použit stroj s označením TM-40. Na Obr. 18) je vidět, že firma využívá také řešení upínání formou shora dolů a spodní čelist je fixní. Stroj je dále vybaven PLC řídicím systémem s dotykovým displejem, který slouží k nastavení požadované tvářecí operace. Vedení pracovní části lineárního hydromotoru je zajištěno přesným lineárním vedením firmy HIWIN. Dle dostupných informací od výrobce může být stroj vybaven různými tvářecími nástroji na rozšíření, zúžení a dalšími speciálními operacemi. Stroj je vybaven 4 kW elektromotorem, který pohání hydrogenerátor s maximálním pracovním tlakem 12 MPa. Hmotnost celého stroje v této konfiguraci pak činí 1100 kg. [12]



Obr. 18) Lisovací stroj TM-40 [12]

Jako poslední v rešerši zmíněný stroj je od firmy Amob se sídlem v Portugalsku. Tato firma nabízí stroje s možností lisovat zároveň až 3 trubky. Stroj zvládne pracovat s trubkami do průměru 250 mm. Opět je určen především pro kovové trubky, a tomu je také uzpůsoben

pohon hydraulickým systémem. V nejvyšší výbavě je stroj osazen elektromotorem o výkonu 30 kW, který generuje pracovní tlak na hydrogenerátoru až 20 MPa. Jako u předchozích výrobců je stroj vybaven uzavíráním shora. Na následujícím obrázku je znázorněn stroj, který je vybaven automatickým mazáním pracovních trnů. Fixační čelisti a tvářecí trny jsou snadno vyměnitelné, a tudíž uzpůsobené pro různé tvářecí operace dle požadavků výroby. [13]



Obr. 19) Lisování 3 trubek zároveň. První pozice slouží k založení [13]

2.3.3 Shrnutí řešerše

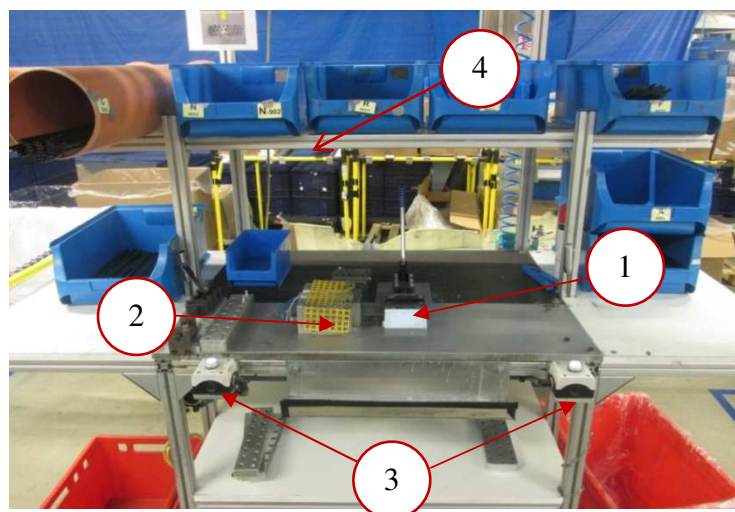
Z výše provedené řešerše je patrné, že firmy využívají jako majoritní způsob lisování konců trubek systém, ve kterém je využito lisovacího trnu. Všichni tři zmínění výrobci používají k zabezpečení pohonu jednotlivých pracovních skupin hydraulické systémy s pracovním tlakem od 12 do 20 MPa. Vzhledem k tomu, že zmíněné stroje jsou využity pro tváření kovových trubek, které mají vyšší přetvárný odpor než plastové, je využití hydraulického systému opodstatnitelné. Poslední zmíněný výrobce nabízí možnost lisovat až tři trubky zároveň. Této koncepcí bude obdobně využito při konstrukčním návrhu nového automatického lisu, kde bude potřeba snížit potřebnou dobu pro lisování jednoho trnu a tím také docílit požadovaného zefektivnění výrobního procesu na úseku termo-tvarování.

2.4 Popis současného tulipovacího stroje (lisu)

Tulipovací stroje se ve firmě FRAENKISCHE používají přibližně od roku 2012. Z důvodu náročnosti obsluhy, nízké efektivity, velkého počtu NOK dílů a poměrně vysokého nebezpečí poranění budou nahrazeny efektivnějšími automatizovanými pracovišti, které lépe odpovídají požadavkům zrychlující se výroby.

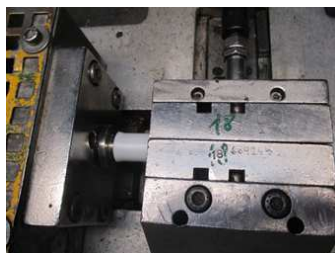
2.4.1 Konstrukce lisu

Na následujícím obrázku je zobrazen lis, který je z konstrukčního hlediska poměrně jednoduchý, obsahuje fixační mechanismus (1), kde jsou čelisti svírající trubku, do které je lisován trn. Pneumatický pohon (2), který vyvíjí potřebnou sílu na zalisování trnu do trubky. Spouštěcí tlačítka (3), která slouží jako spouštěcí a zároveň bezpečnostní prvek. Tlačítka fungují pouze v případě zmáčknutí obou zároveň, nebo s dostatečně malou prodlevou (0,5 sec). V případě uvolnění jednoho z tlačítek dojde k okamžitému zastavení stroje. Nad pracovní deskou stroje se nachází krabice na základní trubky (4). Stroj, v podobě v jaké je vidět na obrázku, neobsahuje řízení (PLC). Není možná kontrola a vyhodnocení prováděných operací. Data z takového stroje jsou nepřesná a se značným zpožděním.



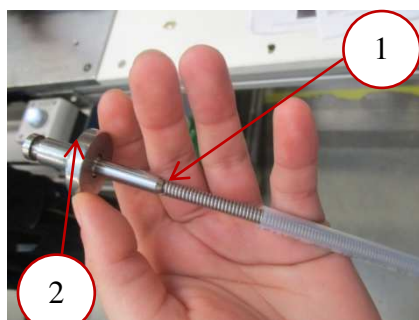
Obr. 20) Tulipovací stroj (lis) obsahující – (1) Fixaci, (2) Pneumatický pohon, (3) Spouštěcí tlačítka a (4) krabice na základní trubky [8]

Na stroji se lisují různé průměry trubek. Je nutné použít správné fixační čelisti, které má obsluha k dispozici na odkládacích deskách. Trny se na tomto stroji lisují do trubek o průměrech od 8 do 18 mm, s krokem po 2 mm. U čelisti založených do fixačního mechanismu viz Obr. 21) hrozí nebezpečí přimáčknutí ruky čelistmi v průběhu zavírání, kdy obsluha do jisté míry koriguje správnou pozici trnu, trubky a čelistí. Vzorový výkres jednoho z používaných trnů je uveden v příloze P2.



Obr. 21) Čelisti a trubka s nalisovaným trnem [8]

Trn (viz příloha P2) ve většině případů ještě obsahuje pružinu (1) Obr. 22), která slouží při tzv. zaplétání trubek do forem. Trubka je při procesu zaplétání značně namáhána a jejímu prasknutí v místě ohybů zamezí právě pružina, která je nepatrně menšího průměru, než vnitřní průměr zaplétané trubky. Trn také obsahuje prstenec (2) Obr. 22), který slouží jako doraz při procesu zaplétání a od jehož pozice jsou udávány rozměry a tolerance jednotlivých ohybů. Tento prstenec dále slouží při vytahování trnu z trubky jako rozpěrná část.



Obr. 22) Trn s pružinou [8]

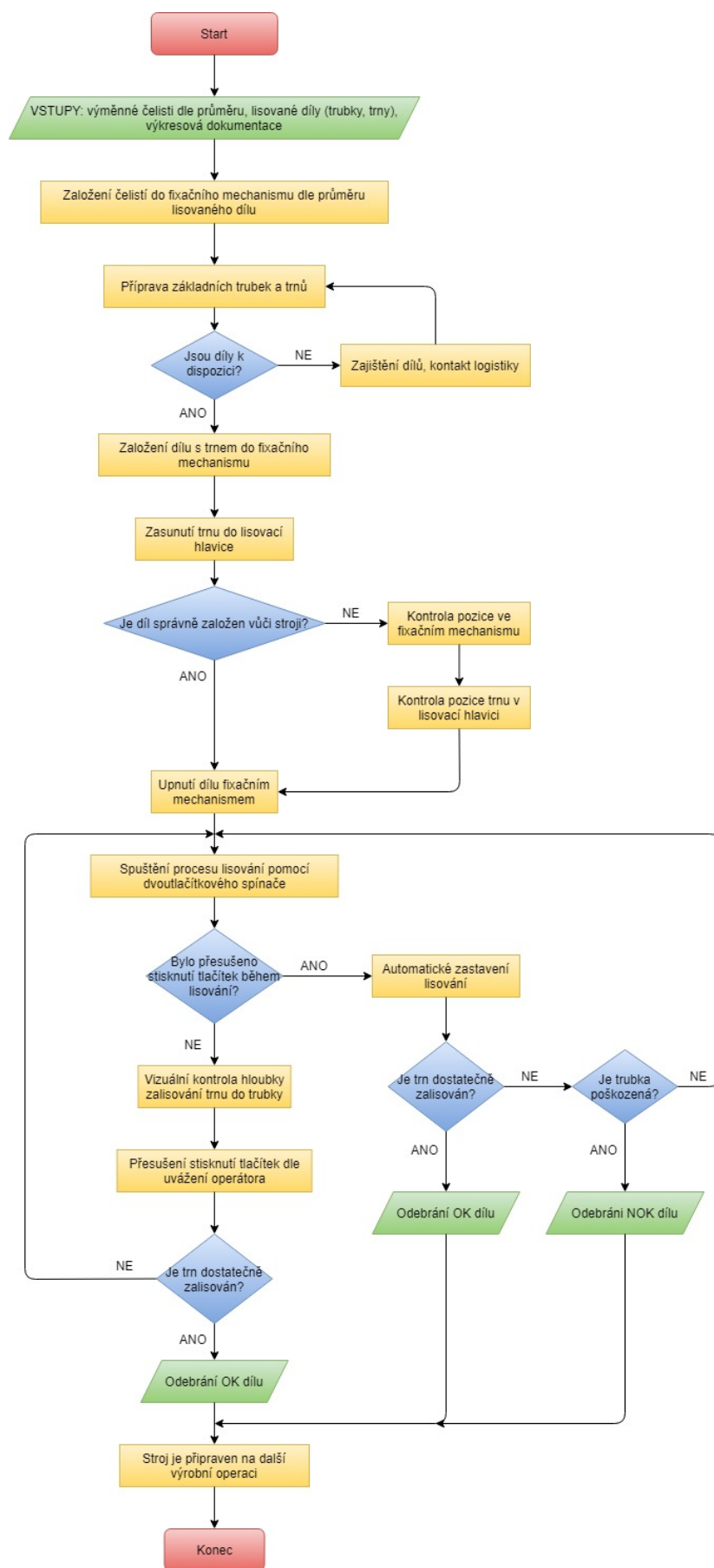
2.4.2 Pracovní postup lisování trnů

Obsluha lisu založí odpovídající čelisti do fixačního mechanismu Obr. 21). Následně založí plastovou trubku s trnem, která je nasunuta ke kuželovému rozšíření trnu (1), viz předchozí obrázky, do fixačního mechanismu. Celou takto předpřipravenou montáž zasune po vnější límeč (2) Obr. 22) do tělesa, které je připevněno k pneumatickému pohonu (2) Obr. 20). Následně zafixuje trubku v čelistech pomocí fixační páky (1) Obr. 20). Po takto provedeném založení provede spuštění stroje pomocí dvoutlačítkového spínání (3) Obr. 20), které má zamezit možnému poranění při lisování. Celé pracoviště je určeno pro jednoho operátora, tudíž by k poranění nemělo dojít. Při lisování obsluha vizuálně kontroluje hloubku nalisování trnu do trubky. Trn musí být dostatečně hluboko, orientačně tak, aby byl vnější prstenec trnu přitlačen k čelu trnu - následující obrázek. Ale také nesmí dojít k tzv. přeražení, kdy je trn natolik hluboko, že dojde k prasknutí trubky nebo provalení hrdla trubky. Celý tento proces je velice závislý na obsluze stroje a trvá pouze desetiny sekundy, u netrénované obsluhy dochází k velkému počtu NOK dílů, což se dále projevuje na špatném taktu termo-tvarovací pece, znehodnoceném materiálu, prodlevách ve výrobě a finančních ztrátách.



Obr. 23) Správně nalisovaný trn do základní trubky [8]

Vývojový diagram Obr. 24) shrnuje jednotlivé výše popsané kroky pracovního postupu lisování trnů do základních trubek. Jedná se o poměrně jednoduché zařízení, ale jsou zde kladeny vysoké požadavky na přesnost a spolehlivost operátora, který se musí rozhodnout, kdy přerušit lisování a následně opticky vyhodnotit správnost a kvalitu zalisovaného trnu do trubky. Veškeré tyto kroky jsou časově náročné a případná únava a nepozornost má za důsledek vysoký počet NOK dílů, a tím zpomalení dalších kroků výroby. Vývojový diagram je vytvořen v online aplikaci draw.io. [10]



Obr. 24) Vývojový diagram pracovního postupu [8][10]

3 ANALÝZA PROJEKTU A VÝBĚR VHODNÉHO KINEMATICKÉHO USPOŘÁDÁNÍ STROJE

Z důvodu neustálého zlepšování a snahy o zrychlení a zefektivnění výrobního procesu, jakož i zvýšení konkurenceschopnosti, vedení firmy rozhodlo o optimalizaci, resp. vývoji nového lisovacího automatu, který bude součástí robotizované buňky. Zautomatizování a zrobotizování výroby má za výsledek rychlejší a přesnější výboru, snížení počtu NOK dílů a snížení personálních nákladů. Další nespornou výhodou automatizace je zvýšení produktivity a využití časového fondu stroje (linky), vzhledem k tomu, že odpadají zákonem i provozem dané pauzy obsluhy výrobních strojů a je eliminována případná únava a nepozornost při opakujícím se výrobním procesu. Automatizace jako taková s sebou přináší detailní přehled o stavu výroby, real-time data a vyhodnocení. Plánování výroby a další navazující úseky tak mohou lépe reagovat na potřeby zákazníka a mají podstatně vyšší přehled nad výrobou.

3.1 Požadované parametry nového lisu

Parametry, které má nový lis splňovat, jsou definovány technologií výroby z úseku termotvarování. Jedná se zde především o zvýšení produktivity stroje a to o 100 %. Jeden nový lis má zastat činnost dvou plně vytížených stávajících lisů. Následující tabulka obsahuje hlavní cíle, kterých by mělo být dosaženo při návrhu a výrobě nového automatizovaného lisu.

Tab 2) Parametry nového lisu [8]

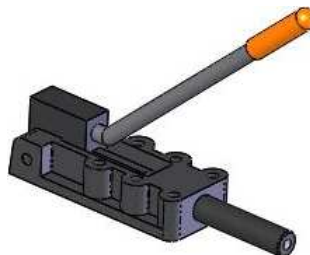
Parametr	Hodnota
Zefektivnit výrobní proces	100 %
Úspora personálu	1 operátor (nyní 2)
Zvýšit stabilitu procesu	Redukce NOK dílů
Zvýšit počet nalisovaných trnů	440 trnů za 40 min (nyní 220)
Pohon realizovat stlačeným vzduchem	Max. 6 bar (firemní vzduchoinstalace)
Připojení k elektrické síti	230 V
Snížení využitého prostoru	Nyní 4,6 x 1,6 x 2,2m (D, Š, V)
Průměry trubek	8 – 18 mm
Délky trubek	570 – 1 250 mm

K lisu bude potřeba navrhnout mechanismus, který bude schopný sám zajistit správnost nalisovaného trnu do trubky, a tím významně snížit nároky kladené na obsluhu (viz Obr. 24) vývojový diagram pracovního cyklu).

Návrh a výroba lisu byla původně plánována pro kooperaci s externí firmou. Na základě výběrového řízení firma obdržela několik návrhů včetně cenových nabídek. Po důkladném prostudování nabízených řešení a finanční náročnosti se vedení firmy rozhodlo o vlastní vývoj. Výroba jednotlivých dílů bude zakázková a celková montáž a oživení stroje bude opět provedena zaměstnanci firmy FRAENKISCHE CZ s.r.o. Kalkulace od jednoho uchazeče ve výběrovém řízení na stavbu nového lisu bude použita jako referenční v kapitole 10 - Vyhodnocení ekonomičnosti projektu.

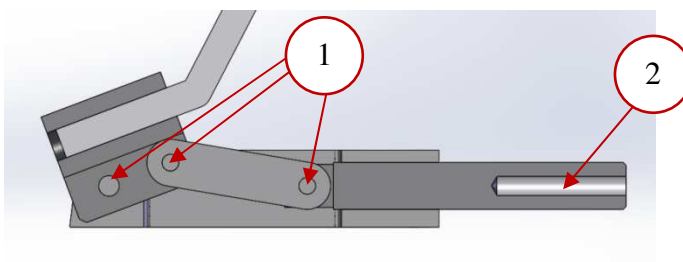
3.2 Rozbor kinematiky současného lisu

Stávající stroj je vybaven ručním pákovým uzavíráním čelistí. Tento pákový mechanismus má stavitelný zdvih pomocí šroubového spoje mezi pohyblivou čelistí fixace a vedením páky. Na následujícím obrázku je znázorněna fixační páka. V tomto provedení, které se využívá na lisování tulipů je páka schopna vyvinout sílu až 25 kN. Maximální síly se ale nevyužívá, zde závisí na zkušenostech obsluhy, která mění jednotlivé čelisti dle průměru a materiálu trubky. A následně nastavuje zdvih páky. [8][14]



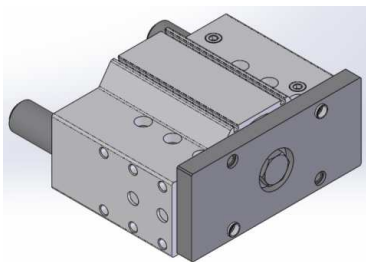
Obr. 25) Upínací páka čelistí [8][14]

Na obrázku 26 je znázorněn mechanismus upínání v řezu z 3D softwaru. Maximální síly je dosaženo v případě, kdy jsou všechny tři čepy srovnané v jedné rovině. Pozice (1) Stavěcí šroub, který se šroubuje do výstupu z pákového mechanismu. Pozice (2) slouží k nastavení zdvihu, respektive maximální upínací síly. [8]



Obr. 26) Řez upínací pákou [8][14]

Pohon lisování trnu do trubky je zajištěn pneumatickým válcem typového označení DFM-80-80-P-A-GF, tudíž průměr i zdvih pístu je shodně 80 mm, (viz obrázek 27, od výrobce Festo). Tento pneumatický válec disponuje maximální silou při 6 barech 3 016 N. Pístnice je dvojčinná, tudíž po uvolnění tlačítek obsluhou dojde k odpojení přívodu stlačeného vzduchu do pracovní pozice a pohyb válce se zastaví. Při opětovném sepnutí tlačítek je zahájen přesun pístu do základní pozice, ale nyní již redukováným tlakem. Pohon je dále vybaven tlumením v koncových polohách, nicméně v pracovní poloze nedojíždí na toto tlumení. [15]



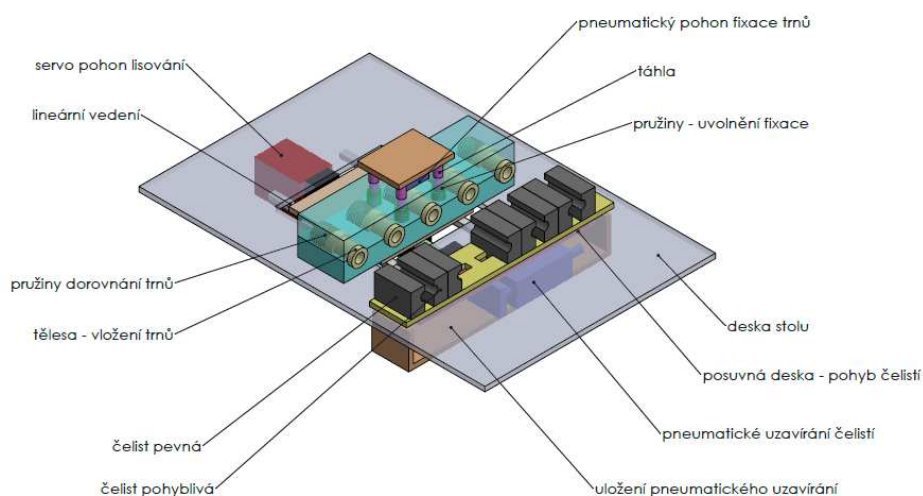
Obr. 27) Pneumatický pohon DFM-80-80-P-A-GF [8][15]

3.3 Návrh kinematiky nového automatického lisu

Na základě veškerých výše popsaných poznatků, ať už z rešerše, firemní literatury nebo návrhu externí firmy, budou provedeny v této kapitole dvě konstrukční varianty. Dle multikriteriální analýzy pak bude vybrána ta varianta, která v součtu získá vyšší hodnocení. V následujících variantách bude řešena pouze samotná kinematika fixace a lisování. Konkrétní rozměry a dispozice rámu stroje nebudou zmíněny.

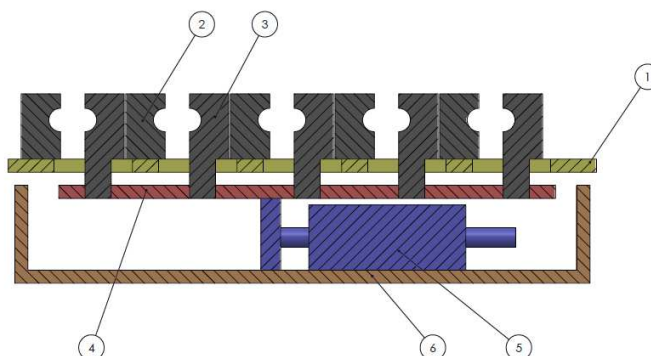
3.3.1 1. Varianta

První konstrukční varianta je provedena s přihlédnutím k řešení od firmy, která se původně ucházela ve výběrovém řízení na stavbu automatického lisu. Tato varianta je mírně upravena dle využívaných kinematických řešení, a to především na úseku montáží. Na následujícím obrázku jsou k vidění základní mechanismy lisu.



Obr. 28) 1. konstrukční varianta lisu

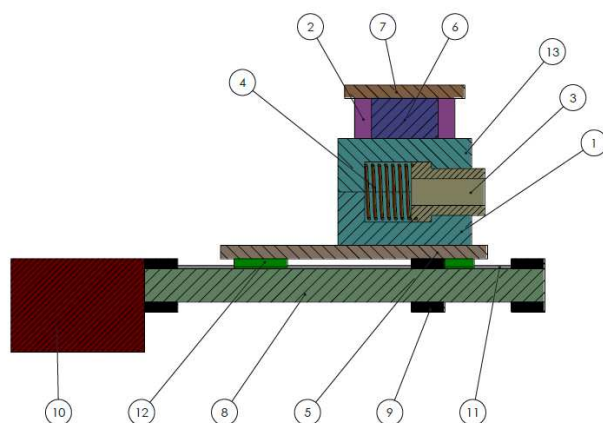
Aby bylo dosaženo výrazného zvýšení produktivity stroje, je potřeba lisovat několik trnů v jednom pracovním cyklu. Z toho důvodu není praktické použití fixování trubek shora dolů, jaké používají výrobci, kteří byli zmíněni v rešerši v kapitole 2.3.2. Při takovémto uspořádání stroje by nebylo možné efektivně zakládat jednotlivé trubky do čelistí a bylo by potřeba navrhnout tvarové zajištění pozice trubky při zakládání. Na Obr. 29) je vidět mechanismus fixace v řezu. Čelisti by byly dále doplněny o tvarové zajištění trubek.



Obr. 29) Fixace 1. Varianta – (1) Uložení pevných čelistí, (2) Pevná čelist, (3) Pohyblivá čelist, (4) Uložení pohyblivých čelistí – pracovní část mechanismu, (5) Pneumatický pohon, (6) Uložení pneumatického pohonu

Po založení všech trubek do čelistí pozice (2) a (3) dojde k zafixování pomocí pneumatického pohonu (5). Nevýhodou tohoto mechanismu je, že fixace jednotlivých čelistí probíhá přes desku (4), která není v ose jednotlivých trubek. Tento nedostatek klade poměrně velké požadavky na uložení jednotlivých pohyblivých čelistí (3) v desce (4).

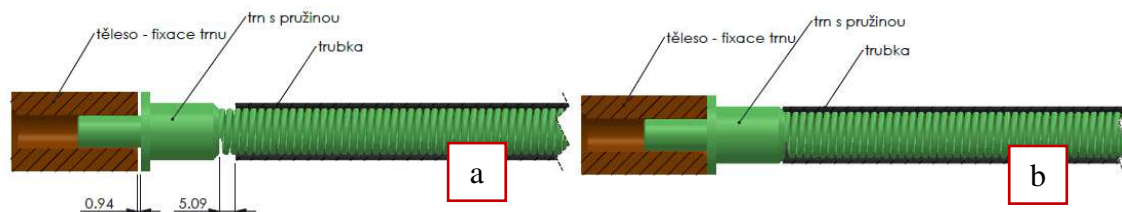
Mechanismus lisování trnů je v této variantě sestaven na základě pohonu synchronním servomotorem. Hlavní výhodou tohoto mechanismu pohonu je možnost přesné regulace rychlosti, zrychlení a hloubky nalisování trnů do trubky. Na následujícím obrázku je vidět mechanismus lisování v řezu.



Obr. 30) Lisování 1. Varianta – (1) Beran spodní, (2) Táhlá, (3) Válcce na trny, (4) Pružiny, (5) Deska uložení beranu, (6) Pneumatický válec fixace obou částí beranu, (7) Deska, (8) Kuličkový šroub, (9) Matice kuličkového šroubu, (10) Synchronní servomotor, (11) Lineární vedení sestavy lisování, (12) Valivé vozíky lineárního vedení, (13) Beran horní

V prvním kroku budou zasunuty trny do válců na trny (3). Jakmile budou založeny veškeré trny, dojde k přestavení servomotorem (10) přibližně o 10 mm. Pružiny (4) dotlačí válce s trny, tak, aby byla zajištěna stejná hloubka zalisování trnů do všech trubek. Následně pneumatický válec (6) zafixuje obě části beranu (1) a (13) přes táhla (2), která jsou propojením mezi oběma tělesy beranu. Tato fixace zamezí proklouznutí válců s trny (3) při lisování. Takto zafixovaný mechanismus zahájí proces lisování servomotorem (10). Síly působící při lisování budou zachyceny lineárním vedením (11) a (12), které je pevně spojeno s pracovní deskou lisu.

Následující obrázek znázorňuje detailněji funkci dotlačení jednotlivých trnů k čelům trubek. Při zakládání obsluhou může dojít k tomu, že trn s pružinou a trubka nebudou dostatečně dotlačeny k tělesu na trny Obr. 36 a). První krok mechanismu proto zajistí, že budou trubky s trny dorovnány, viz Obr. 36 b).

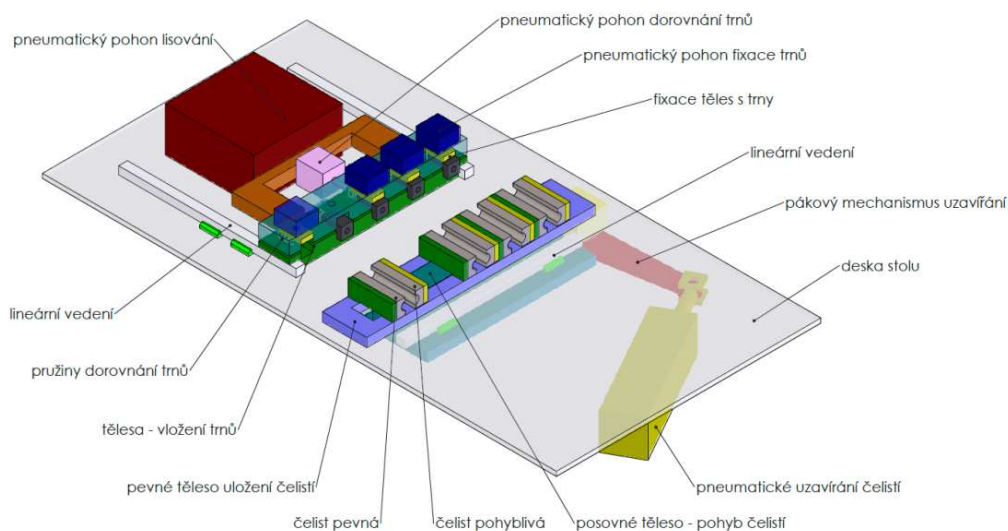


Obr. 31) a) Nedotlačený trn

b) Dotlačený trn

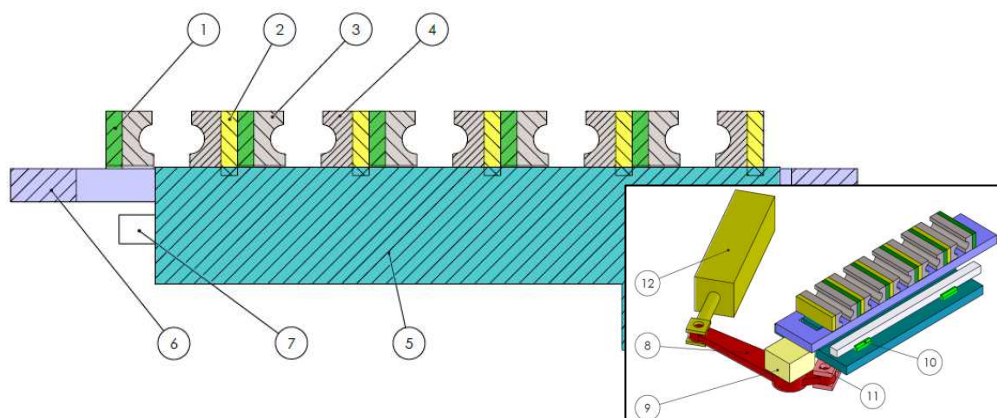
3.3.2 2. Varianta

Druhá konstrukční varianta disponuje jiným mechanismem fixování trubek v čelistech. Cílem tohoto mechanismu je zvýšit upínací sílu. Podobný fixační mechanismus již byl jednou ve firmě použit na lisování konektorů do nejtvrděších trubek. Jako pohon lisování bude v tomto případě použit pneumatický válec, obdobně jako je tomu na stávajícím lisu. Představení a dorovnání těles s trny bude řešeno taktéž pneumatickým válcem, se zdvihem 10 mm.



Obr. 32) 2. konstrukční varianta lisu

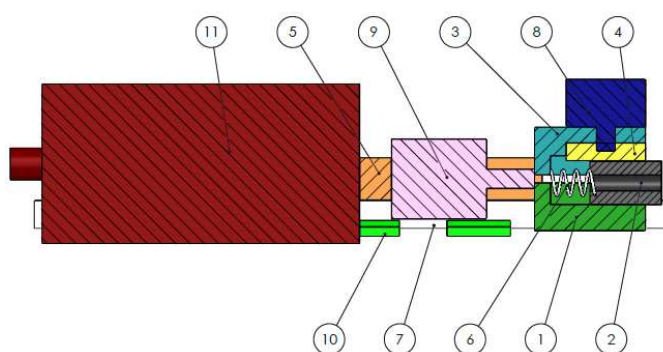
Stejně jako v předchozí variantě bude i u této varianty v jednom výrobním taktu zpracováno pět trubek. Na následujícím obrázku je zobrazen mechanismus uzavírání čelistí, který kombinuje pohon pneumatickým válcem s pákovým mechanismem za účelem zvýšení maximální upínací síly. Tento mechanismus je nepatrně náročnější na konstrukci a uložení jednotlivých částí, ať už se jedná o valivé vedení posuvného tělesa, nebo pákového mechanismu. Jednotlivé čelisti zde nejsou spojeny přímo s pevným, respektive posuvným tělesem, ale jsou přesouvány pomocí opěrných desek, které jsou zapuštěné do jednotlivých těles. Toto uložení zajistí vhodné působení síly na čelisti, které nebudou tolik namáhány.



Obr. 33) Fixace 2. Varianta – (1) Opěrná deska pevné čelisti, (2) Opěrná deska pohyblivé čelisti, (3) Pevná čelist, (4) Pohyblivá čelist, (5) Posuvné těleso čelistí, (6) Pevné těleso čelistí, (7) Lineární vedení, (8) a (11) Páka, (9) Čep, (10) Valivé vozíčky lineárního vedení, (12) Pneumatický pohon

Fixace trubek proběhne pneumatickým válcem (12). Jehož upínací síla bude znásobena pákovým mechanismem (8) a (11). Vedení posuvného tělesa (5) bude realizováno lineárním vedením (7) a (10). Uložení pohyblivých čelistí (4) a pevných čelistí (3) je provedeno opěrnými deskami (1) a (2).

Na následujícím obrázku je vidět sestava lisování v řezu. Mechanismus lisování trnů je v této variantě sestaven z pneumatických pohonů, kde představení a dorovnání jednotlivých trnů proběhne slabým pneumatickým válcem se zdvihem 10 mm (9). V dalším kroku fixace těles s trny (2) proběhne pneumatickým válcem (8). Následné lisování proběhne silnějším pneumatickým pohonem (11), síla působící od tohoto pohonu bude přenesena podkovou (5), která zamezí poškození stavěcího válce (9), přes který by jinak proběhlo lisování. Nevýhoda této koncepce tkví v tom, že není možné přesně řídit hloubku vysunutí lisovacího válce. Oproti předchozí variantě bude provedeno zafixování jednotlivých těles na trny svým vlastním pohonem (8).



Obr. 34) Lisování 2. Varianta – (1) Beran spodní, (2) Tělesa na trny, (3) Beran horní, (4) Fixační desky, (5) Podkova, (6) Pružiny, (7) Lineární vedení, (8) Pneumatický válec fixace trnů, (9) Pneumatický válec dorovnání trnů, (10) Valivé vozíky lineárního vedení, (11) Pneumatický válec lisování

3.3.3 Multikriteriální analýza

Z výše popsaných koncepcí bude dle několika parametrů vybrána ta, která bude na základě bodového ohodnocení pro firmu nejvhodnější.

V následující tabulce jsou obě varianty ohodnoceny škálou bodů od 1 do 5 (kde 1 znamená nejméně vyhovující a 5 maximálně vyhovující). Na základě takto vybrané koncepce bude dále zpracován detailní konstrukční návrh s výpočtem jednotlivých částí mechanismu.

Tab 3) Kritéria pro volbu koncepce automatického lisu

Kritérium	Varianta 1	Varianta 2
Maximální využitelná síla fixace trubek	2	5
Náročnost výroby jednotlivých komponentů	3	2
Odhadovaná cena	2	4
Přesnost fixování trnů, možnost prokluzu	3	4
Možnost nastavení přesné hloubky lisování	5	2
Odběr elektřiny ze sítě	1	3
Kompaktnost konstrukce	4	3
Celkem	20	23

Jak z tabulky vyplývá, nepatrně vyšší ohodnocení získala druhá varianta. Významným bodem výběru je pro zadavatele v této fázi odhadovaná cena. Respektive návratnost investice, která by měla být jeden rok.

Po provedení detailního konstrukčního návrhu bude práce pokračovat kontrolními výpočty, na základě kterých budou jednotlivé komponenty nového lisu optimalizovány. Závěrem bude provedeno zhotovení výrobních výkresů jednotlivých částí a výkresů sestav.

Druhá varianta ovšem nedovoluje přesné řízení hloubky nalisování trnů, s tímto problémem se bude muset návrh vypořádat a zabezpečit konstrukčně a softwarově požadovanou hloubku zalisování trnu v požadované kvalitě.

3.4 Diskuse - výběr vhodného kinematického řešení

V podkapitole 2.3.1 bylo pojednáno o standardních metodách, které se využívají při tvorbě rozšířených konců trubek. Při úspěšném zvládnutí zautomatizování metody rotujícího trnu by tato metoda mohla být použitelná, nicméně by se musela kompletně změnit dosavadní výroba. To by znamenalo změnit technologii termo-tvarování, potažmo zaplétání trubek, do kavit. Další problém by byl v případě navařených pružin na trny, kterými by takto nešlo rotovat. Veškeré nyní používané trny a pružiny by bylo nutné předělat, nebo vyrobit nové. Všechny zmíněné komplikace ekonomicky nevyváží jednoduchost tohoto řešení. Při konstrukčním návrhu bude zachován koncept lisování trnu s pružinou, z toho důvodu byly zmíněny v kapitole 2.3.2 pouze lisy podobné konstrukce. I přes výše popsání je řešerše vhodná jako inspirace pro další vývoj a konstrukci lisovacích strojů, a to především možností využití jako pohonu jednotlivých částí servomotorů nebo hydraulického systému, který má násobně vyšší pracovní tlaky než pneumatické systémy. O této skutečnosti bude také pojednáno na konci práce v doporučení pro další vývoj. Dalším neméně významným bodem je možnost lisování více trubek v jednom cyklu, což má za následek zrychlení výrobního taktu, minimálně o dobu pohybu pracovních částí strojů. Ovšem toto řešení je konstrukčně a výrobně náročnější.

4 DETAILNÍ NÁVRH MECHANISMU LISU A ŘÍZENÍ

Postup popsaného konstrukčního návrhu přibližně odpovídá skutečné práci konstruktéra, ale v některých případech se práce odkazuje na další komponenty, které ještě nejsou v dané fázi určeny. Při návrhu takového mechanismu, kdy se jedná v podstatě o jednoúčelový stroj, se o konstrukci stroje a jeho jednotlivých podsestav uvažuje jako o celku.

Je známou praxí, že za účelem zrychlení a maximálního zlevnění nákladů na vývoj, respektive pořízení takového stroje, bývá zanedbána pevnostní analýza a různé další výpočty. Celý návrh je dimenzován na základě znalostí a zkušeností konstruktéra, který použije mírně naddimenzované prvky, což je ve výsledku pro firmu ekonomicky výhodnější, než pořizovat drahý výpočtářský software a platit pracovníky na těchto pozicích.

Návrh mechanismu bude proveden na základě předchozích zkušeností ze zaměstnání a z poznatků získaných studiem na VUT v Brně. S přihlédnutím k faktu, že se jedná o stroj silově náročnější na použité materiály a konstrukci, budou provedeny pevnostní analýzy nejvíce zatěžovaných částí. Na základě těchto návrhových a kontrolních výpočtů bude v navazující kapitole 6 provedena optimalizace jednotlivých komponentů lisu.

Neméně důležitým bodem návrhu mechanismu bude také zabezpečit, aby byl lis dostatečně bezpečný a možné poranění obsluhy bylo minimální. Z tohoto důvodu bude pokračovat vývoj lisu jako robotizované pracoviště v kapitole 8, kde již zaměstnanci vůbec neprijdou do kontaktu s pohybujícími se částmi lisu.

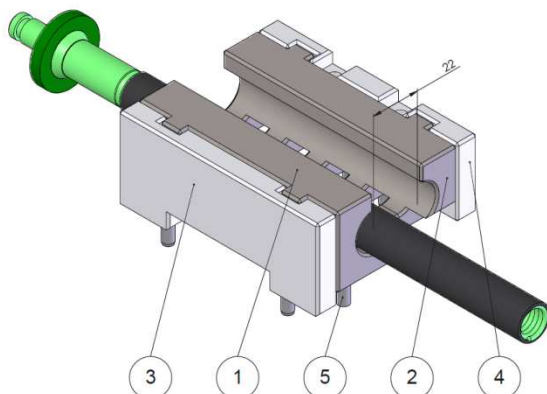
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, automatický lis bude obsahovat dvě hlavní pracovní skupiny. Jedná se o sestavu fixování trubek a o sestavu lisování trnů. V následujících podkapitolách budou podrobně popsány jednotlivé sestavy, postup návrhu a princip, jakým budou jednotlivé kroky řízeny. Všechny modely jsou vytvořeny v programu Solidworks [17].

4.1 Podsestava fixace

4.1.1 Čelisti

Základní částí mechanismu fixace jsou čelisti. Tyto čelisti budou pro průměry trubek dle zadání Tab. 2, tj. 8 – 18 mm. Tyto čelisti budou uzpůsobeny jednoduché výměně, a jejich pozice v lůžku bude zajištěna kolíky a tvarovým spojem, který při lisování přenesení axiální síly. Na následujícím obrázku je zobrazen pár čelistí včetně vložené trubky. Spodní zubové spojení čelistí slouží jako podpora trubky. Tímto prvkem předchozí lis nedisponoval a obsluha musela přidržovat trubku ve správné pozici vůči čelisti i v průběhu uzavírání fixace. Jednotlivé zubové spoje budou ve výkresech tolerovány tak, aby nedošlo k jejich kolizi. Důležitou částí čelistí je jejich povrchová úprava v místě fixace trubky. Tato plocha bude opatřena diamantovým povrchem, který zajistí, že trubka při operaci lisování neproklouzne. Diamantový povrch se ve firmě používá na všech čelistech, které jsou určené pro fixaci hladkých trubek, a to převážně na úseku montáže. Během konstrukce tohoto lisu ovšem nebylo možné dohledat, jaký je koeficient tření mezi plastovou trubkou a diamantovým povrchem čelistí. Z toho důvodu bude v kapitole 6.2.1 provedeno experimentální zjištění koeficientu tření této třecí dvojice. Výstup z této části může posloužit firmě při navrhování dalších výrobních strojů, ať už se bude jednat o automatizaci výrobních procesů nebo

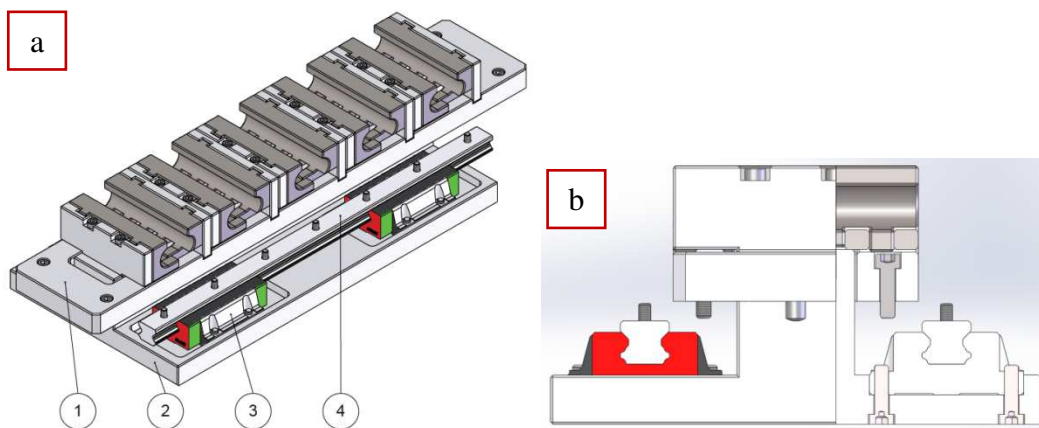
robotizaci jednotlivých úseků výroby. Vzorový výkres povrchové úpravy je uveden v příloze P3. Součástí obrázku je také okótovaná vzdálenost mezery na průchod trubek.



Obr. 35) Čelisti – (1) Pevná čelist, (2) Pohyblivá čelist, (3) Opěrná deska pevné čelisti, (4) Opěrná deska pohyblivé čelisti, (5) Kolíky

4.1.2 Uložení lineárního vedení a čelistí

Čelisti a jejich opěrné desky budou uloženy na tělese, kterým budou spřaženy všechny dvojice čelistí. Tvarové spojení bude provedeno tak, aby bylo zamezeno kolizi při zavírání, jak zobrazuje následující obrázek 40 a). Obrázek 40 b) je pak výstřížkem z 3D software a zobrazuje průchod těles. Uložení a vedení je realizováno lineárním vedením od firmy HIWIN [16], k dosažení maximální tuhosti uložení budou kolejnice i vozíky zapuštěny do obráběných dílců. Materiál obou těles je ocel 1.1203. Předběžně zvolené vozíky a k nim odpovídající vedení bude dle katalogu výrobce velikosti 20. Pro vozík platí označení HGW 20 HC, který ve svém základu obsahuje maznici, pro vedení pak HGR 20 R, s otvory pro šroubové spojení skrz vedení.

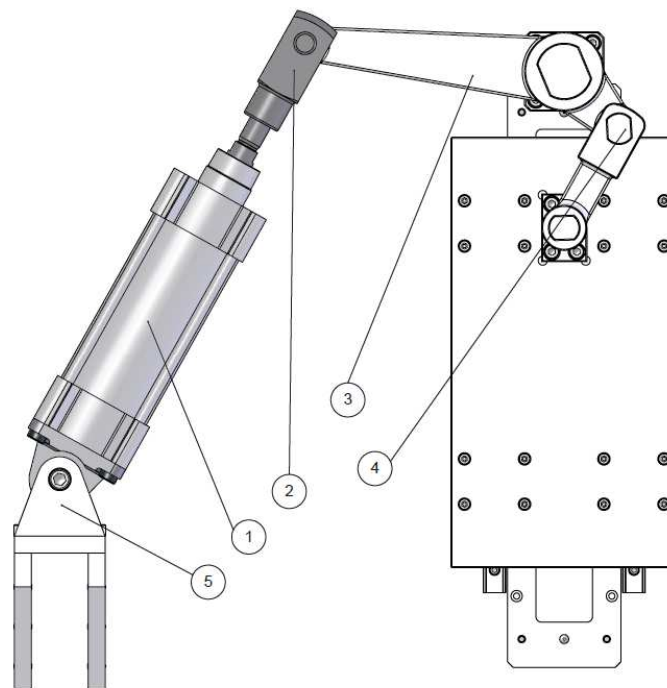


Obr. 36) a) Fixace – (1) Pevné těleso čelistí, (2) Posuvné těleso čelistí, (3) Vozík HGW20HC, (4) Vedení HGR20R b) Průchod těles

4.1.3 Pneumatický mechanismus uzavírání čelistí

Jak již bylo popsáno v kapitole 3.3.2, pohon uzavírání bude řešen pomocí pneumatického válce a následného pákového mechanismu. Uložení pneumatického válce bude provedeno přípojnými elementy od výrobce Festo. Jednotlivé uložení rotačních dvojic na pákovém mechanismu bude kluzné a vybavené maznicemi. Tolerování daných součástí bude určeno s ohledem na typ daného provozu a dle strojírenských tabulek [18]. Jako pneumatický válec je

předběžně zvolen DSBG-80-125-PPVA, který disponuje teoretickou silou při 6 barech v dopředném směru 3 016 N. A může být provozován při maximálním tlaku až 12 barů. [15] K tomuto válci jsou dále vybrány dle katalogu přípojné elementy v podobě, v jaké jsou vidět na následujícím obrázku. Válec bude dále vybaven koncovými snímači polohy, jejichž signál bude přiveden na vstupní kartu do řídicího PLC, na základě čehož bude programem řízena sekvence jednotlivých příkazů. Více o použitých snímačích a řízení bude v kapitole 4.6.



Obr. 37) Sestava fixace – (1) Pneumatický válec DSBG-80-125, (2) Vidlicová koncovka SG-M20x1,5, (3) Páka, (4) Čepy, (5) Uložení pístu vůči stolu

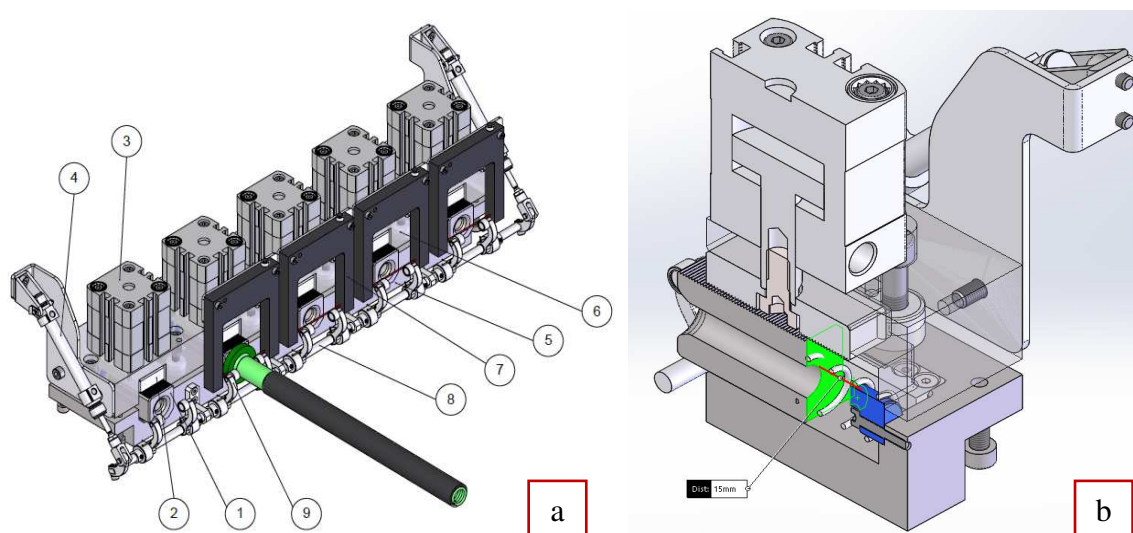
Aby při sevření nedocházelo k promáčknutí trubky až na pružinu, což by zamezilo možnosti dorovnání trnů na sestavě lisování, viz kapitola 4.2, bude v prvotním kroku upínání použito menšího tlaku. Požadavek na minimální tlak, při kterém trubka neproklouzne, ale bezpečně umožní zarovnání trnu, bude určen v kapitole 6.3.1. Tento problém je i na stávajícím lisu a obsluha pozici trnu s pružinou koriguje ručně. Nicméně při fixaci, kdy je pružina výrazně delší než plocha upínání trubky, není možné zamezit následnému proklouznutí pružiny v trubce a tím narušení vnitřního povrchu trubky. Pružina musí mít dostatečný průměr, aby při zaplétání zpevnila trubku a nedocházelo k jejímu zlomení. Trn i pružina jsou povrchově upravené tak, aby toto narušení vnitřní strany trubky bylo co nejmenší, ale nelze jej úplně odstranit.

4.2 Podsestava lisování

4.2.1 Tělesa pro trny, jejich dorovnání a zafixování

Trny založené do čelistí budou dotlačeny k tělesům, které zajistí jejich pozici při lisování. Vedení těles na trny bude v beranu provedeno tvarovým spojem s kluzným uložením. Toto lůžko bude vybaveno pružinou, která při kroku dorovnání zajistí správnou pozici těles. Dorovnané trny vůči trubce viz obrázek 38 a) budou zafixovány pneumatickými válci ADN-32-10-I-P-A s teoretickou dopřednou silou při 6 barech 483 N [15]. Všechny válce budou

vybaveny koncovými snímači. Tělesa pro trny i fixační desky budou vyrobeny s pilovým drážkováním, které do sebe bude zapadat. Pro zajištění maximální trvanlivosti tvarové fixace budou tyto díly v oblasti drážkování povrchově kaleny. Na následujícím obrázku je detailně vidět uložení těles pro trny. Beran bude dále vybaven přídržným mechanismem, který zajistí správnou pozici kroužku na trnu. Při nedotlačení tohoto kroužku k čelu trnu by mohlo dojít při lisování k jeho vzpříčení a tím výrobě NOK dílu. Každá pozice pro trny bude také vybavena senzorem přítomnosti trnu. Detailně bude o funkci senzorů pojednáno v kapitole 4.5.2.



Obr. 38) a) Lisování – (1) Tělesa na trny, (2) Fixační desky, (3) Pneumatický válec ADN-32-10, (4) Pneumatický válec DSNU-8-30, (5) Beran spodní, (6) Beran horní, (7) Senzor PKI-50/W-3-P2, (8) Hřídel, (9) Páčky b) Vedení v beranu

4.2.2 Pneumatický pohon lisování

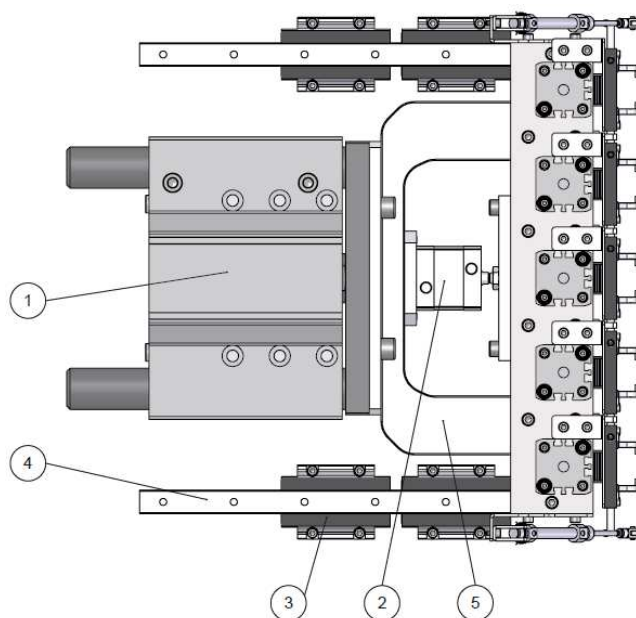
Jako pohon lisování je předběžně zvolen pneumatický válec DFM-100-80-P-A-GF s teoretickou dopřednou silou při 6 barech 4 712 N [15]. Předpokládaný ohybový moment působící na vedení zmíněného pístu od sestavy beranu bude přenesen lineárním vedením opět velikosti 20, jako u předchozí podsestavy. Toto lineární vedení také přenesení případné ohybové momenty. V případě, že trubky nebudou založeny rovnoměrně od středu, ale bude se lisovat např. pouze jedna na krajní pozici.

Lisovací síla bude na beran přenesena pomocí tzv. podkovy, která překlene pneumatický válec dorovnání trnů a v maximální možné míře rozloží sílu působící od pneumatického válce lisování na beran s trny. Geometrie této podkovy bude optimalizována metodou konečných prvků v kapitole 6.4.2 s ohledem na maximální možné namáhání této části, a to při lisování nejtvrděších trubek s obsazením všech pozic (za maximální sílu působící na podkovu bude uvažováno s maximální silou pístu lisování při 10 barech).

Velkou výhodou takto provedeného zautomatizování bude odbourání nutnosti kontroly hloubky zalisování trnu obsluhou v průběhu lisování. Tím pádem bude moci být pneumatický válec rychleji plněn stlačeným vzduchem, což přinese tíženě zrychlení celého výrobního taktu.

Je vysoce pravděpodobné, že nebude možné použít doraz hloubky lisování, protože trny nejsou stejných délek. Pracovní tlak tedy bude nastavován proporcionálním ventilem tak, aby bylo zajištěné bezpečné a správné zalisování trnu, ale aby nedošlo k provalení trubky.

Na následujícím obrázku je znázorněno kompletní uspořádání navrženého mechanismu lisování.

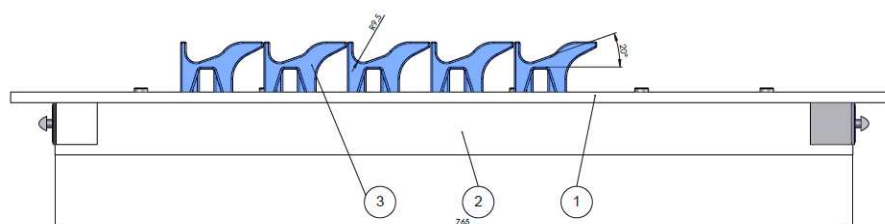


Obr. 39) Sestava lisování – (1) Pneumatický válec DFM-100-80, (2) Pneumatický válec ADN-40-10, (3) Vozík HGW20H, (4) Vedení HGR20R, (5) Podkova

4.3 Pracovní deska

Pracovní deska lisu bude vyrobena ze slitiny hliníku, tloušťky 10 mm. Pro zvýšení tuhosti desky v oblasti pracovních podsestav fixování a lisování bude deska vyztužena dvěma profily obdélníkového průřezu o rozměrech (V x Š) 50 x 40 mm z materiálu 1.1203.

Jak ze zadání vyplývá, na stole se budou lisovat trubky o délkách 570 – 1 250 mm (viz Tab. 2). Bylo by tedy vhodné, aby stůl disponoval podpěrnými bloky – lůžky, které zajistí dostatečnou správnost pozice založené trubky. Jak je zobrazeno na následujícím obrázku, jednotlivé bloky jsou tvarově uzpůsobeny minimálním požadavkům na přesnost založení trubky. Sklon bloku je přibližně 20°, tudíž i při nedotlačení trubky do bloku bude sama navedena. Za účelem minimalizování nákladů na výrobu budou lůžka vytištěna pomocí 3D tiskárny od firmy Stratasys, řady F123, verze F1704 [19], z materiálu ASA, jehož vlastnosti [20] jsou pro danou aplikaci naprosto dostačující. Na následujícím obrázku je zobrazena pracovní deska stolu, výztuha a 3D tištěná lůžka.



Obr. 40) Deska – (1) Deska stolu, (2) Výztuha, (3) Lůžka

4.5.2 Senzory zakládání trnů

Jak již bylo zmíněno, každá pozice pro zakládání trnů bude vybavena senzorem. V případě obsazení pozice obdrží řídicí PLC signál, na základě kterého program nastaví potřebný tlak na proporcionálním ventilu, přes který budou plněny válce fixace a lisování. Paprsek čidla bude procházet osou trnů a bude umístěn pouhých 5 mm od čela zakládání trnů. Tudíž by nemělo dojít k nerozpoznání obsazené pozice. Senzory jsou od výrobce KISTLER s označením PKI-50/W-3-P2 [21].



Obr. 43) Senzor PKI-50/W-3-P2 [21]

4.5.3 Proporcionální ventily

Pracovní tlak válců fixace a lisování bude proměnlivě nastavován dle výstupů z PLC, a to na základě počtu založených trubek, jejich průměru a tvrdosti materiálu. Každý z těchto zmíněných válců bude mít svůj vlastní ventil. Jako proporcionální redukční ventil je zvolen typ VPPM-6L-L-1-G18, který je ovládán elektronicky. Základní jmenovitý průtok ventilem je 1400 l/min, což by mělo být dostatečné. Obdobně jako většina produktů firmy Festo je dle katalogu přípustný tlak max. 10 barů [15]. Na následujícím obrázku je vidět zvolený proporcionální ventil.



Obr. 44) Proporcionální ventil VPPM-6L-L-1-G18-0L10H-LK-S1 [15]

4.5.4 Spouštění výrobního procesu

Po provedení zakládání dílců bude obsluhou spuštěna sekvence pohybů pneumatických válců. V této chvíli budou nároky na obsluhu minimální, veškeré úkony zabezpečující kvalitně prováděné výrobní operace budou zabezpečeny mechanicky a elektronicky samotným strojem. Za účelem maximálního bezpečí práce bude pracoviště vybaveno dvoutlačítkovým dvoubodovým spínáním od firmy ABB. U tohoto tzv. safeballu nestačí pouze zmáchnout spínač, ale je nutné zmáchnout tlačítko na obou stranách (podobně jako zmáchnutí míčku).

To platí pro obě ruce operátora. Pracoviště je dle dalších platných firemních směrnic a bezpečnostních norem určeno pouze pro jednoho operátora, tudíž by nemělo dojít k jeho poranění.



Obr. 45) Safeball JSD-TDI-130700 [22]

4.5.5 Ovládací panel

Ovládací panel bude dotykový. V režimu pro obsluhu budou dostupné pouze funkce nastavení tvrdosti trubky, jejího průměru a času lisování. Ve stavu údržby bude možné spravovat jednotlivé pohyby pneumatických válců, procházet záznamy z výroby, především vytíženosti a taktu stroje, zadávat, popř. měnit tlaky proporcionálních ventilů.



Obr. 46) Dotykové menu ovládacího panelu (navržené elektro oddělením) [8]

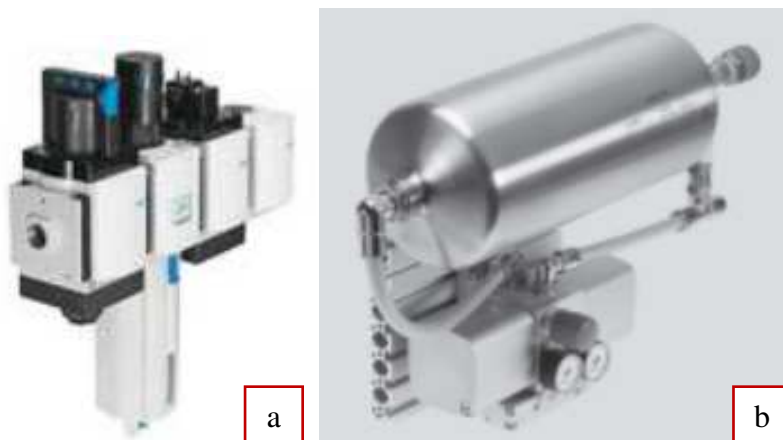
4.5.6 Elektroinstalace

Elektroinstalace bude provedená dle platných norem. U stroje bude dále provedena elektro revize a protokol o shodě. Jak bylo v zadání specifikováno Tab. 2, stroj má být připojován ke zdroji napětí o velikosti 230 V. Toto bude splněno, na stroji nejsou použity žádné pohony, které by vyžadovaly 3 - fázové připojení. Přívod střídavého napětí (AC) i následného stejnosměrného (DC) bude jištěn na základě platných předpisů. Konkrétní podoba elektrických schémat a řídicího programu bude vypracovaná elektro oddělením.

4.5.7 Přívod stlačeného vzduchu, ventilový terminál, násobič tlaku

Stoj bude připojován k celofiremnímu rozvodu stlačeného vzduchu dle normy ISO 8573-1:2010 rychlospojkou. Přívod stlačeného vzduchu bude procházet manuálním uzavíracím ventilem (vypínání/zapínání stroje), manuálním nastavováním vstupního tlaku, odpouštěním kondenzátu, elektricky řízeným ventilem, rozdělovacím modulem do ventilového terminálu a násobičem tlaku. Příklad jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu je na obrázku 47 a).

Je vysoce pravděpodobné, že tlak z firemní rozvodny, který dosahuje 6 barů, nebude dostatečný. Z toho důvodu je již ve fázi konstrukčního návrhu uvažováno s násobičem tlaku na min. 10 barů a zásobníkem stlačeného vzduchu viz obrázek 47 b). Požadavek zvýšeného tlaku bude pouze pro pneumatické válce fixace a lisování.

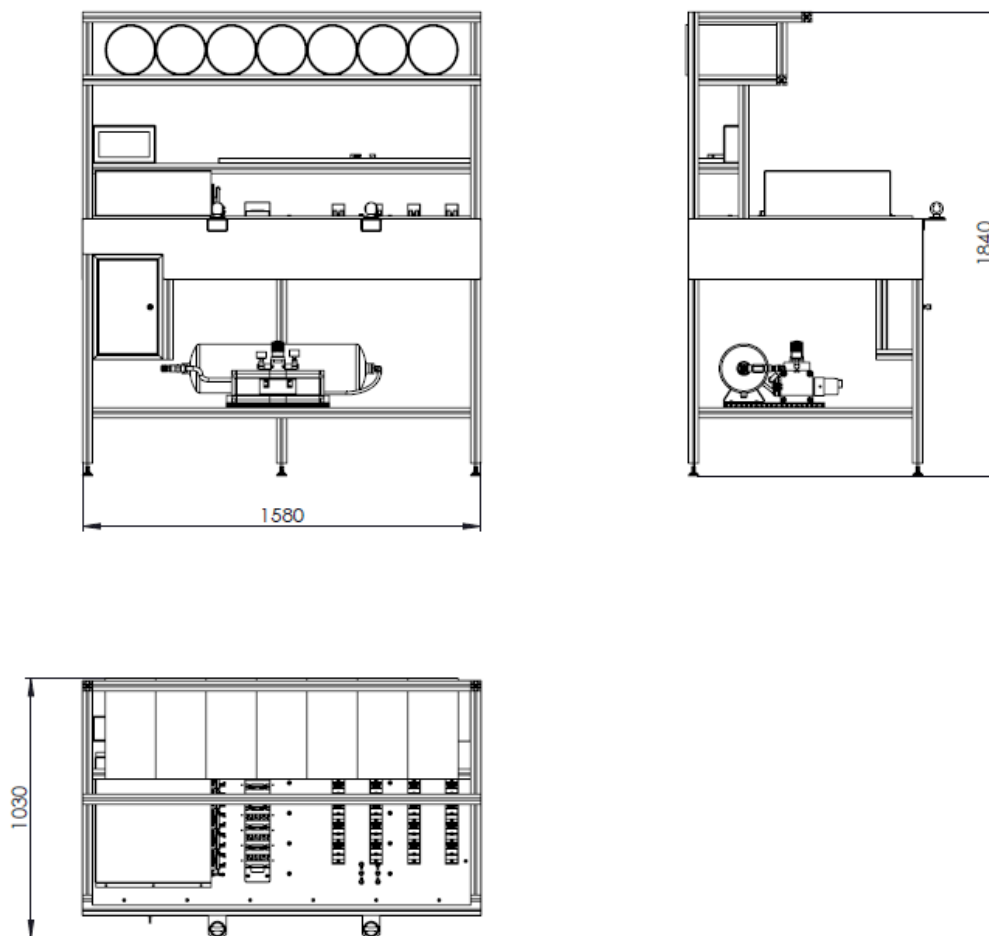


Obr. 47) a) Úprava stlačeného vzduchu b) Násobič tlaku a zásobník stlačeného vzduchu [15]

5 KONSTRUKCE LISU

V předchozí kapitole byly popsány veškeré komponenty a podsestavy. Představu o kompletním rozvržení lisu dokresluje následující obrázek.

Již v této části návrhu je možné určit požadavek na zástavbu nového automatického lisu. Podstatnou část prostoru stále zabírají lůžka na pracovní desce, která definují správnou pozici trubky a zamezují jejímu případnému sesmeknutí.



Obr. 48) Navržený lis

Následující tabulka popisuje základní parametry stroje.

Tab 4) Parametry automatického lisu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Rozměry	1580 x 1030 x 1840	D x Š x V
Hmotnost	710	kg
Pracovní tlak	5,5 (11 - násobič)	bar
Napájení	230	V

6 NÁVRHOVÉ A KONTROLNÍ VÝPOČTY

V této kapitole budou provedeny detailní návrhové a kontrolní výpočty chronologicky navázané na postup konstrukce lisu.

V první podkapitole bude určena potřebná síla k zalisování trnu do trubky. Následovat bude výpočet potřebné síly k zafixování trubky v čelistech. Tento výpočet bude proveden na základě experimentálně zjištěného koeficientu tření třecí dvojice, a to čelistí s diamantovým povrchem – trubkou. Vyvozené závěry z tohoto experimentu s velkou pravděpodobností také poslouží firmě pro další konstrukce strojů a nástrojů.

Následovat bude výpočet podsestavy lisování a jejich komponent. V závěrečné části výpočtové kapitoly bude zvolen, na základě předchozích výpočtů, odpovídající násobič tlaku a k němu náležící zásobník stlačeného vzduchu.

6.1 Síla potřebná k zalisování trnu

Nejdůležitější parametr, který ovlivní veškeré zbývající výpočty, je síla potřebná k zalisování trnu do trubky. Aby bylo možné tuto sílu určit, bude provedeno experimentální měření na několika dílech. Modelace tvářecí operace, např. metodou konečných prvků, je velice závislá na vstupních datech. Modelace byla provedena, nicméně výsledek příliš nekorespondoval s měřením, proto také není dále v práci uvedena. Výpočet byl s velkou pravděpodobností zatížen chybou od vstupních dat. V reálném prostředí bude měření ovlivňovat především kvalita opracovaného povrchu trnu, teplota, při které bude trn lisován, kluzná rychlost, odvod tepla a koeficient třen mezi trnem a trubkou. [23][27]

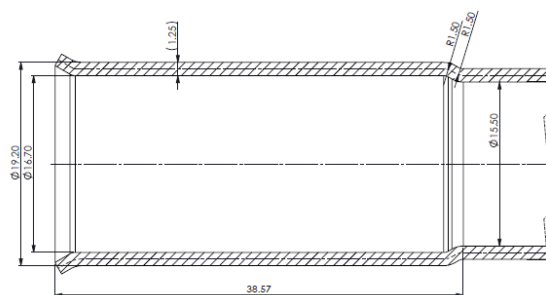
6.1.1 Experimentální zjištění potřebné síly

Zpracovávané trubky jsou většinou vyráběny ve 2, 3 i více vrstvách, s různým procentuálním zastoupením jednotlivých materiálů, za použití různých pojiv jednotlivých vrstev. Určit vlastnosti takovýchto trubek je poměrně obtížné. Na základě informací získaných od technologů, kteří se zabývají zpracováním plastů, jsou v experimentu použity trubky průměru 18 mm s tloušťkou stěny 1,25 mm, vyrobené z nejtvrdšího materiálu MLT5-B, který se skládá z HDPE-EVOH-PA612. [8][24][25][26] Základní rozměry trubek a trnů, které se nejčastěji používají, jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab 5) Základní rozměry trubek a trnů v [mm] [8]

Průměr trubky	Stěna	Tolerance (+/-)	Průměr trnu	Hloubka lisování
8	1	0,15	6,7	23
10	1	0,15	8,7	27
14	1,25	0,15	12,6	30
16	1,25	0,15	14,6	34
18	1,25	0,15	16,7	38

Průměr trnu na lisování bývá obvykle vyroben o 0,1 – 0,2 mm větší, než požadovaný vnitřní průměr trubky z důvodu následného smrštění po dokončení operace. [8] Geometrie rozšířeného hrdla trubky je znázorněna na následujícím obrázku 49.



Obr. 49) Řez trubky, rozměry jsou uvedeny pro průměr 18 mm [8]

V následujícím výpočtu bude určen předběžný čas dokončení tvářecí operace. Tento čas je určen na základě hloubky lisování s využitím poloviční rychlosti pohybu pístu dle katalogu Festo. Jedná se pouze o teoretický čas operace. V dalších kapitolách bude upraven na základě zkušebních cyklů lisování a kontroly kvality opracované trubky.

$$t_{ukonč} = \frac{l_{lis}}{v_{ref}} = \frac{0,05}{0,2} = 0,25 \text{ s} \quad (1)$$

Kde:

l_{lis} [m] dráha lisování trnu, uvažováno s rezervou, tudíž 50 mm, dle Tab. 5

v_{ref} [m/s] 50 % maximální rychlost válce DFM-100-80, $v_{ref} = 0,2 \text{ m/s}$, dle [15]

Na následujícím grafu je zobrazen vyhlazený průběh lisování, které bylo provedeno na vzorku několika trubek z výše popsaného materiálu. Postupným zvyšováním pracovního tlaku na jednotlivých vzorcích bylo dosaženo správně zalisovaného trnu po hrdlo trubky. Maximální naměřená síla je **1413 N**. K měření byl použitý kalibrovaný externí snímač síly s označením H3 o rozsahu +/- 10 kN dodaný firmou NATIS [28]. Na grafu je vidět poměrně lineární průběh nárůstu síly lisování v úseku do 0,35 s. Následný prudký nárůst je způsoben finálním kuželovým rozšířením hrdla trubky viz Obr. 49). Ustálení síly lisování následuje po další zhruba jedné desetině vteřiny. V tomto okamžiku je trn zalisován do trubky po vnější prstenec viz (2) Obr. 22). Rychlost pohybu pístnice byla postupně redukována za účelem dosažení kvalitního spoje trnu a trubky.



Obr. 50) Průběh síly při experimentálním lisování trnu

6.1.2 Kontrola pneumatického válce jako pohonu lisování

Na základě provedeného experimentu je v následujícím výpočtu ověřen válec, který bude použit jako pohon lisování DRM-100-80 za využití téměř celého rozsahu pracovních sil.

$$F_{pl} = p_{l_{10b}} \cdot S_{pl} = p_{l_{10b}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{pl}^2}{4} = 1\,000\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 7\,854\,N \quad (2)$$

$$F_{lm} < F_{pl} \rightarrow 7\,065\,N < 7\,854\,N \quad (3)$$

Kde:

$p_{l_{10b}}$ [Pa] maximální vstupní tlak pístu DFM-100-80, $p_{l_{10b}} = 1\,000\,000$, dle [15]

S_{pl} [m²] plocha pístu DFM-100-80

d_{pl} [m] průměr pístu DFM-100-80, $d_{pl} = 0,1$ dle [15]

F_{lm} [N] max. síla lisování (přepočteno na 5 trubek), z obrázku 50

F_{pl} [N] max. síla pístu DFM-100-80 při $p = 10\,bar$, ze vzorce (2)

Síla zvoleného pneumatického válce DFM-100-80 je dle vzorce (3) dostatečná k lisování pěti trubek zároveň.

6.2 Určení potřebné síly fixace

6.2.1 Zjištění koeficientu tření (trubka – čelist s diamantovým povrchem)

Aby bylo možné spočítat potřebnou sílu fixace trubky, bylo potřeba určit koeficient tření dvojice trubka - diamantový povrch čelisti. Toto experimentální zjištění bylo provedeno na předem vyrobeném páru čelistí za měření síly lisování a síly fixace. V době měření byla teplota prostředí ve výrobní hale 25°C a relativní vlhkost vzduchu 65 %. Měření zahrnovalo desítky vzorků a byly naměřeny následující hodnoty, které jsou uvedeny formou výtažku z daného souboru.

Tab 6) Tabulka naměřených hodnot síly upnutí a lisování

Měření č.	F_{ls} [N]	F_n [N]
1	485	685
2	659	937
3	836	1 085
4	954	1 285
5	1 053	1 495
6	1 386	1 732
7	1 450	1 958
průměr	947,7	1 311

Horní hranice celého souboru měření zaznamenaly síly lisování 1450 N a síly fixace 1958 N. Na základě těchto měření byl koeficient tření určen podílem průměrných hodnot síly lisování a síly fixace. Při vyšších silách lisování již docházelo k nežádoucí deformaci trubek a experiment byl ukončen.

$$f_s = \frac{F_{ls}}{F_n} = \frac{947,7}{1\,311} = 0,72 \quad (4)$$

Kde:

F_{ls}	[N]	průměrná síla lisování, dle Tab. 6
F_n	[N]	průměrná síla fixace, dle Tab. 6

Koeficient tření mezi trubkou a čelistí s diamantovým povrchem je $f_s = 0,72$.

6.2.2 Výpočet síly fixace s ohledem na koeficient tření

$$F_f = \frac{F_{lm}}{f_s} = \frac{7\,065}{0,72} = 9\,813\,N \quad (5)$$

$$F_{fc} = F_f \cdot f_c = 9\,813 \cdot 1,3 = 12\,756\,N \quad (6)$$

Kde:

F_{lm}	[N]	max. síla lisování (přepočteno na 5 trubek), z obrázku 50
f_s	[-]	koeficient tření trubka – čelist s diamantovým povrchem, ze vzorce (4)
F_f	[N]	základní vyžadovaná síla fixace, ze vzorce (5)
f_c	[-]	koeficient znečištěných/zanesených čelistí, z kapitoly 6.3.4

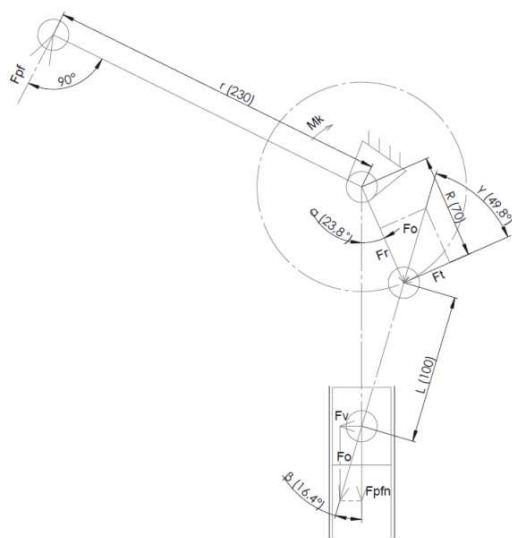
Požadovaná síla fixace je **12 756 N**.

6.3 Sestava fixace

Určení potřebné síly fixace bude provedeno na základě experimentálně zjištěného koeficientu tření mezi trubkou a čelistmi s diamantovým povrchem. Výpočet v následující podkapitole je dle literatur [29] a [30]. Následují kontrolní výpočty čepů a páky (klikového mechanismu) metodou konečných prvků a určení životnosti lineárního vedení.

6.3.1 Pneumatický pohon fixace

Nezbytným krokem při fixaci trubek je v první části upnutí malou silou za účelem zasunutí trnů s pružinami hlouběji do trubky. V případě, že by byla trubka, resp. trubky, zafixovány pracovním tlakem, došlo by k deformaci trubky do takové míry, že by nebylo možné zasunout trny a dorovnat tudíž výchozí pozici lisování. V následujícím výpočtu je uvažován klikový mechanismus bez tření. Rozměry v následujícím schématu jsou uvedeny v [mm]. Krouticí moment M_k je vyvozen silou od pístu F_{pf} na ramenu páky r .



Obr. 51) Schéma klikového mechanismu

$$F_{pf} = p_{f_6b} \cdot S_{pf} = p_{f_6b} \cdot \frac{\pi \cdot d_{pf}^2}{4} = 600\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} = 3\,016\,N \quad (7)$$

$$M_k = F_{pf} \cdot r = F_t \cdot R \rightarrow F_t = \frac{F_{pf} \cdot r}{R} = \frac{3\,016 \cdot 0,23}{0,07} = 9\,910\,N \quad (8)$$

$$\lambda_p = \frac{R}{L} = \frac{0,07}{0,1} = 0,7 \quad (9)$$

$$F_{pfn} = \frac{F_t}{\sin \alpha + \frac{\lambda_p}{2} \cdot \sin 2\alpha} = \frac{9\,910}{\sin 23,8 + \frac{0,7}{2} \cdot \sin(2 \cdot 23,8)} = 14\,970\,N \quad (10)$$

$$F_{fc} < F_{pfn} \rightarrow 12\,756\,N < 14\,970\,N \quad (11)$$

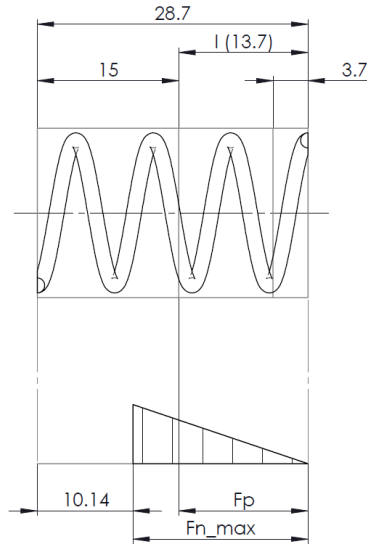
Kde:

p_{f_6b}	[Pa]	vstupní tlak pístu DSBG-80-125, $p_{f_6b} = 600\,000$, z kapitol 4.5.7 a 6.5.1
S_{pf}	[m ²]	plocha pístu DSBG-80-125
d_{pf}	[m]	průměr pístu DSBG-80-125, $d_{pl} = 0,08$ dle [15]
F_{pf}	[N]	max. síla pístu DSBG-80-125 při $p = 6\,bar$, ze vzorce (7)
r	[m]	délka páky, z obrázku 51
R	[m]	délka ramene kliky, z obrázku 51
L	[m]	délka ojnice, z obrázku 51
F_t	[N]	tečná složka síly na klíce, ze vzorce (8)
α	[°]	úhel před dolní úvratí, z obrázku 51
λ_p	[-]	poměr délky kliky a ojnice, ze vzorce (9)
F_{fc}	[N]	max. vyžadovaná síla fixace, ze vzorce (6)
F_{pfn}	[N]	pracovní síla fixace při $p = 6\,bar$, ze vzorce (10)

Síla zvoleného pneumatického válce DSBG-80-125 je při využití pákového mechanismu dostatečná pro zafixování pěti trubek při lisování dle vzorce (11).

V následujícím kroku bude proveden výpočet minimální potřebné síly k zamezení posunutí trubky v čelistech v prvotní části lisování, kdy bude pomocí stavěcího válce (2) Obr. 39) provedeno dorovnání trnů k čelům trubek. Tento krok je zahrnut z důvodu možného promáčknutí trubky při požadované fixaci a jejímu zdeformování stěny do takové míry, že dojde ke kontaktu pružiny s vnitřní stěnou trubky a to zamezí dorovnání trnů k čelům trubek.

Ve výpočtu je uvažováno s nejhorší možnou variací založení trubek z pohledu daného kroku operace, a to v případě zarovnání všech trnů, jež budou dorovnány k hrdlům trubek viz Obr. 31 b). Z pohledu správnosti založení trubek je ovšem tento stav nejvíce vyhovující, protože trny vůči trubkám jsou ve správné pozici. V tomto kroku budou všechny pružiny stlačeny o celý zdvih válce ADN-40-10, tedy o 10 mm. Pružiny jsou v základní poloze předeprnutý o 3,7 mm.



Obr. 52) Průběh síly pružiny VD-217B

$$F_p = l \cdot r_p = 13,7 \cdot 4,486 = 61,5 \text{ N} \quad (12)$$

$$F_{pc} = F_p \cdot n_p = 61,5 \cdot 5 = 307 \text{ N} \quad (13)$$

$$p_{s1} = \frac{F_{pc} \cdot f_c \cdot p_{f_6b}}{f_s \cdot F_{pfn}} = \frac{307 \cdot 1,3 \cdot 600\,000}{0,72 \cdot 14\,970} = 22\,217 \text{ Pa} \quad (14)$$

Kde:

l	[mm]	délka stlačené pružiny, z obrázku 52
r_p	[N/mm]	tuhost pružiny $r_p = 4,486 \text{ N/mm}$, dle [31]
F_p	[N]	síla pružiny, ze vztahu (12)
n_p	[-]	počet pružin v beranu, $n_p = 5$, z obrázku 38
F_{pc}	[N]	síly od všech pružin v beranu, ze vztahu (13)
f_c	[-]	koefficient znečištěných/zanesených čelistí, z kapitoly 6.3.4
p_{f_6b}	[Pa]	vstupní tlak pístu DSBG-80-125, $p_{f_6b} = 600\,000$, z kapitol 4.5.7 a 6.5.1
f_s	[-]	koefficient tření trubka – čelist s diamantovým povrchem, ze vztahu (4)
F_{pfn}	[N]	pracovní síla fixace při $p = 6 \text{ bar}$, ze vztahu (13)

Ze vztahu (14) je patrné, že potřebný tlak k zafixování trubek v kroku dorovnání je $p_{s1} \approx 0,22 \text{ bar}$. Minimální provozní tlak pístu DSBG-80-125 je ale dle [15] $p = 0,4 \text{ bar}$. V následujícím výpočtu bude tedy zkontrolována deformace trubky při rovnoměrném rozložení tlaku na čelisti. Ovšem může nastat situace, kdy se bude lisovat pouze jedna trubka, ale minimální síla fixace, respektive tlak ve válci, bude zmíněných 0,4 baru. Proto je v následující studii vzat v potaz tento tlak ve válci fixace pouze pro jednu trubku.

$$F_{pf_0,4b} = \frac{p_{f_0,4b} \cdot F_{pfn}}{p_{f_6b}} = \frac{40\,000 \cdot 14\,970}{600\,000} = 998 \text{ N} \quad (15)$$

$$p_{prm} = \frac{F_{pf_0,4b}}{S_t} = \frac{998}{1\,703} = 0,586 \text{ MPa} \quad (16)$$

Kde:

$p_{f_0,4b}$ [Pa]	minimální vstupní tlak pístu DSBG-80-125, $p_{f_0,4b} = 40\ 000$, dle [15]
p_{f_6b} [Pa]	vstupní tlak pístu DSBG-80-125, $p_{f_6b} = 600\ 000$, z kapitol 4.5.7 a 6.5.1
F_{pfn} [N]	pracovní síla fixace při $p = 6\ bar$, ze vzorce (13)
$F_{pf_0,4b}$ [N]	síla uzavření čelistí, ze vzorce (15)
S_t [mm ²]	plocha pracovní části čelistí průměru 14 mm, z 3D dat

Na následujícím obrázku je znázorněna deformace trubky způsobená tlakem od válce DSBG-80-125 o velikosti $p = 0,4\ baru$, která byla zjištěna metodou konečných prvků. Na povrch trubky působí tlak $p_{prm} = 0,586\ MPa$, dle vzorce (16). Jak je možné vidět na vnitřním průměru trubky, dojde k promáčknutí o přibližně 0,185 mm. Tzn. na celém průměru trubky o 0,37 mm. Tato vzorová trubka je vyrobena ze základního materiálu PA612 s vnějším průměrem 14 mm, délka čelistí je 100 mm (shodně pro všechny průměry). Dle firemní literatury jsou pružiny vyrobeny s průměrem menším než vnitřní průměr trubky minimálně o 10 %. [8]

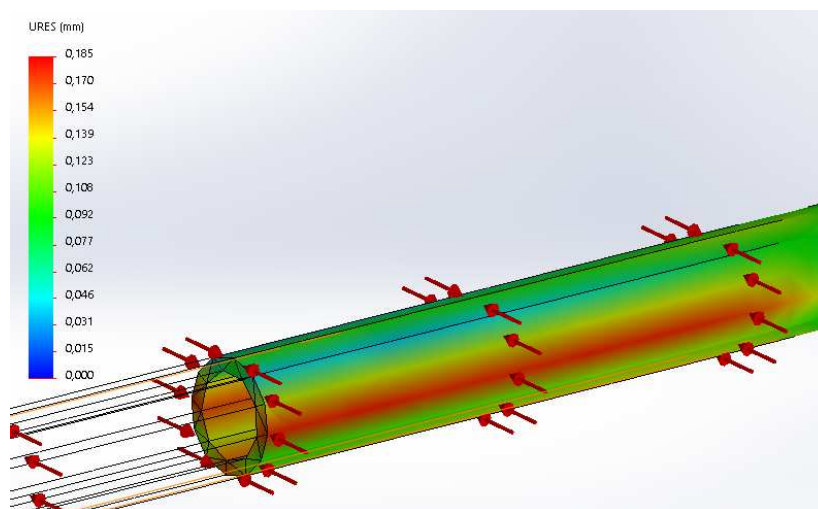
$$prm_p = d_{14v} - (d_{14v} \cdot 0,9) = 11,5 - (11,5 \cdot 0,9) = 1,15\ mm \quad (17)$$

$$prm_d < prm_p \rightarrow 0,37\ mm < 1,15\ mm \quad (18)$$

Kde:

d_{14v} [mm]	vnitřní průměr 14 mm trubky, $d_{14v} = 11,5\ mm$, dle Tab. 5
prm_d [mm]	deformace vnitřního průměru trubky, z obrázku 53
prm_p [mm]	minimální rozdíl průměru trubky a pružiny, ze vzorce (17)

Pro danou trubku je vůle mezi pružinou a vnitřní stěnou trubky dostatečná.



Obr. 53) Zdeformovaná trubka při prvním kroku upnutí

V následující tabulce jsou dopočítány deformace vnitřního průměru trubky v závislosti na použitém základním materiálu trubky a jejím průměru.

Tab 7) Vůle, vnitřní průměr trubky - pružina

d_{tru}	d_{pruz}	S_{celist}	p	PA 612	HD-PE	Δ PA612	Δ HD-PE
8	5.4	859	1.16	0.112	0.192	0.488	0.408
10	7.2	1 076	0.93	0.26	0.448	0.54	0.352
14	10.62	1 703	0.59	0.37	0.64	0.78	0.51
16	12.15	2 004	0.5	0.572	0.99	0.778	0.36
18	13.95	2 302	0.43	0.82	1.424	0.73	0.126

Kde:

d_{tru}	[mm]	vnější průměr trubky, dle Tab. 5
d_{pruz}	[mm]	průměr pružiny, dopočteno na základě vzorce (17)
S_{celist}	[mm ²]	plocha pracovní části čelisti, z 3D dat
p	[MPa]	tlak vyvinutý na trubku, dopočteno na základě vzorce (16)
$PA612$	[mm]	deformace stěny trubky z PA 612, zjištěné metodou MKP
$HD-PE$	[mm]	deformace stěny trubky z HD-PE, zjištěné metodou MKP
$\Delta PA 612$	[mm]	vůle mezi zdeformovanou stěnou trubky a pružinou
$\Delta HD-PE$	[mm]	vůle mezi zdeformovanou stěnou trubky a pružinou

Z tabulky je patrné, že při aplikaci minimálního provozního tlaku válce fixace DSBG-80-125 **v žádném z kontrolovaných případů nedojde ke kontaktu vnitřní stěny trubky s pružinou**. Je tedy zajištěno volné posunutí pružiny uvnitř trubky.

Nejhorší varianta je dle očekávání pro trubku z materiálu HD-PE, nicméně je důležité poznamenat, že tento materiál se používá v kombinaci s dalšími materiály, tudíž výsledná deformace není tak markantní.

6.3.2 Čepy

Čepy budou kontrolovány na maximální namáhání, které může nastat právě při zmíněné poloze. Vychází se z předchozí podkapitoly, kdy úhel svíraný mezi ramenem kliky a ojnicí bude 23,8°, tudíž maximální síla působící na čepu bude F_o . [30]

$$F_o = \frac{F_t}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{9\,910}{\sin(23,8 + 16,4)} = 15\,353\,N \quad (19)$$

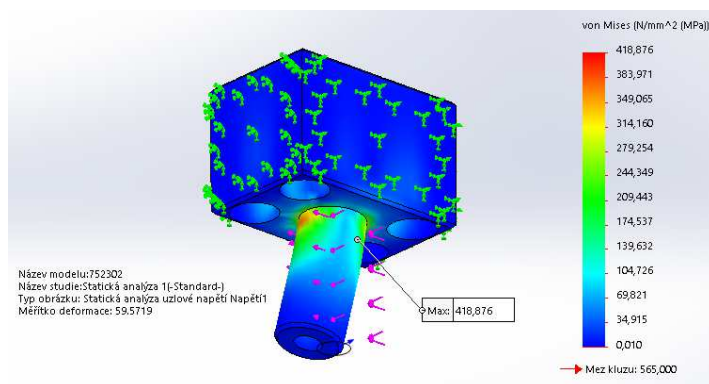
$$F_v = \sin \beta \cdot F_o = \sin 16,4^\circ \cdot 15\,353 = 4\,335\,N \quad (20)$$

Kde:

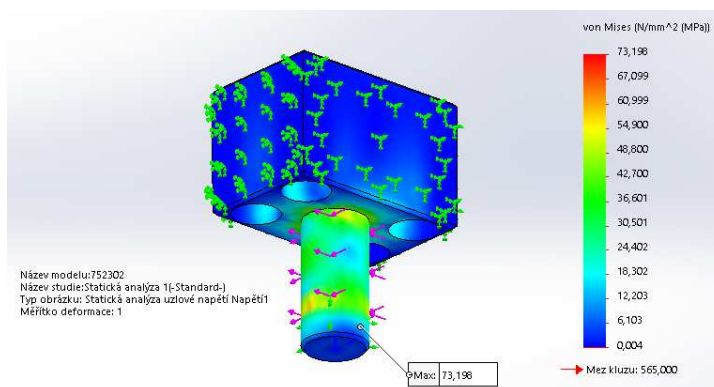
F_t	[N]	tečná složka síly na klice, ze vzorce (8)
α	[°]	úhel před dolní úvratí, z obrázku 51
β	[°]	úhel odklonu ojnice, z obrázku 51
F_o	[N]	osová síla v ojnici, ze vzorce (19)

První kontrolovaný čep se nachází u ojnice. Vzhledem k prvotně navrženému uložení dle Obr. 37), je zde předpokládáno s maximálním namáháním čepu z podstaty jeho uložení. Simulace namáhání čepu je provedena opět metodou MKP, kdy na čep působí dvojice sil F_v v ose x a F_{pfn} v ose y. Viz obrázek 54. Jako výrobní materiál čepu je použita ocel C45E, s mezí kluzu 430 MPa. [18] V knihovně Solidworks [17] je sice zmíněna vyšší mez kluzu 565 MPa. Ale použita bude nižší hodnota ze strojních tabulek.

Jak je znázorněno na následujícím obrázku, při takovémto zatížení čepu dojde téměř k dosažení meze kluzu. Proto bude upraveno uložení čepu, a odebrán vnitřní závit. Nově bude čep kluzně uložen v protikusu, který bude spojen s Posuvným tělesem čelistí (2) obrázek 36 a zajištěn šroubovým spojením. Detail této úpravy je k vidění v příloze P4.



Obr. 54) Původní návrh ojnicního čepu podroben MKP studii



Obr. 55) Upravený ojnicní čep

$$k_{c-1} = \frac{R_{e-c}}{\sigma_{c-1}} = \frac{430}{73,2} = 5,87 \quad (21)$$

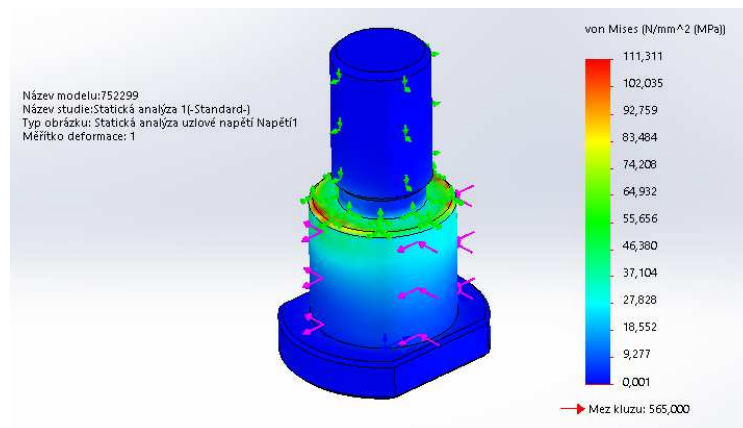
Kde:

R_{e-c} [MPa] mez kluzu C45E, $R_e = 430$ MPa, dle [18]

σ_{c-1} [MPa] maximální napětí na čepu, z obrázku 55

Koeficient bezpečnosti čepu činí po úpravě návrhu $k_{c-1} = 5,87$, což je dostatečné, mohl by být i nižší.

Druhý kontrolovaný čep je středový. Na tomto čepu rotuje páka, resp. klika. Tento čep je uložen v návrhu obdobně jako předchozí kontrolovaný, ale s jiným průměrem. Ze zákona akce a reakce bude na tento čep působit stejná dvojice sil, jako na předchozí. Na následujícím obrázku je vidět maximální napětí na čepu, který je ze stejného materiálu jako předchozí.



Obr. 56) Napětí na klikovém čepu

$$k_{c_2} = \frac{R_{e_c}}{\sigma_{c_2}} = \frac{430}{111,3} = 3,86 \quad (22)$$

Kde:

R_{e_c} [MPa] mez kluzu C45E, $R_e = 430 \text{ MPa}$, dle [18]

σ_{c_2} [MPa] maximální napětí na čepu, z obrázku 56

Koeficient bezpečnosti čepu na základě prvotního návrhu je $k_{c_2} = 3,86$, což je opět dostatečné.

6.3.3 Páka

Poslední částí klikového mechanismu, kde je potřeba určit, zda je součást z pohledu namáhání vyhovující, je páka. Model je zatížen reakčními složkami síly F_o tzn. F_r a F_t .

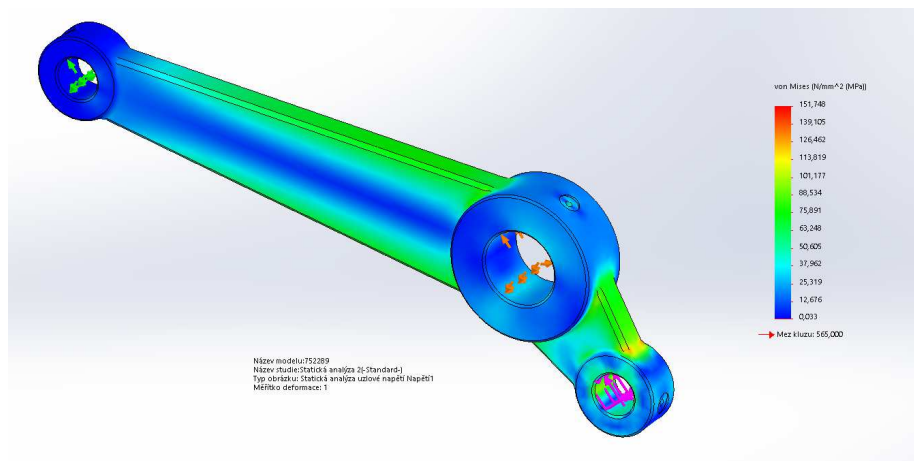
$$F_r = F_o \cdot \cos \gamma = 15\,353 \cdot \cos 49,8 = 9\,910 \text{ N} \quad (23)$$

Kde:

F_o [N] osová síla v ojnici, ze vzorce (19)

γ [°] úhel svírající tečná složka síly F_o , z obrázku 51

Naměřené maximální napětí reprezentuje následující obrázek. Toto napětí je naměřeno dle očekávání na přechodu zkosení hran.



Obr. 57) Napětí zjištěné na páce (klíce)

$$k_p = \frac{R_{e-c}}{\sigma_p} = \frac{430}{139,8} = 3,08 \quad (24)$$

Kde:

R_{e-c} [MPa] mez kluzu C45E, $R_e = 430 \text{ MPa}$, dle [18]

σ_p [MPa] maximální napětí na páce, z obrázku 62

Koeficient bezpečnosti zjištěný na páce je $k_p = 3,08$, i v tomto případě tedy dostatečný. Jako možné zvýšení koeficientu bezpečnosti by se použily větší rádiusy na přechodu mezi válcovou a plochou stěnou páky.

6.3.4 Čelisti

Jak již bylo předesláno v kapitole 4.1.1, čelisti budou povrchově upraveny v oblasti styku s trubicí. Diamantový povrch se ale v průběhu pracovní činnosti zanáší.

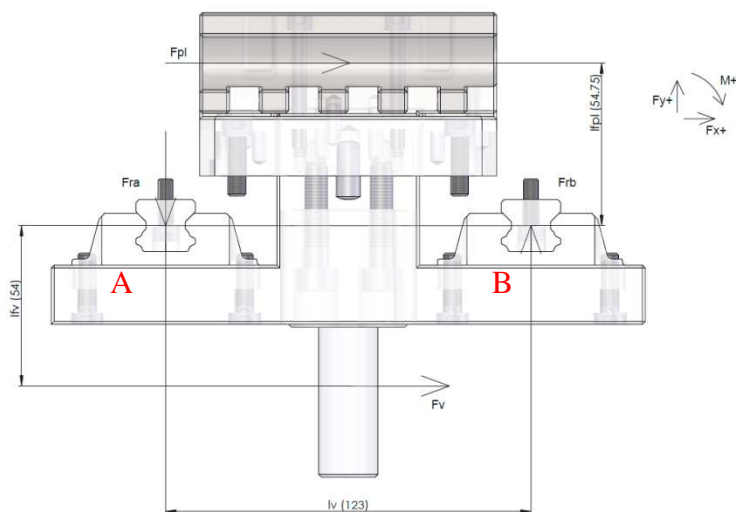
Koeficient takového zanášení byl experimentálně ověřen na páru vyřazených čelistí, kde byl diamantový povrch velice znehodnocen ulpělým plastovým materiálem. Síla potřebná ke správnému zafixování v takovéto čelisti byla postupně navyšována, až došlo ke správnému zalisování trnu za neproklouznutí trubky. Sílu fixace bylo potřeba navýšit přibližně o 30 %.

Koeficient pro zanesené čelisti je tedy uvažován $f_c = 1,3$. A byl použit ve výpočtu v kapitole 6.2.2.

Na základě provedeného experimentu lze usoudit, že by bylo vhodné v pravidelných intervalech čistit povrch čelistí od usazeného plastu. Navrhovaná pravidelná údržba je alespoň jedenkrát za půl roku.

6.3.5 Lineární vedení

Složka síly od klikového mechanismu F_v a lisovací síla F_{pl} , zatěžují lineární vedení. Předpokládá se, že pevně uložené čelisti přenesou polovinu zatížení od válce lisování, do desky stolu. U lineárního vedení bude v následujícím výpočtu provedeno ověření, zda je dostatečně dimenzované pro tento typ provozu. Výpočet je proveden dle katalogových listů výrobců lineárních vedení [32][33][34]. Na následujícím obrázku je vidět směr a působení sil na vedení. Z momentové rovnováhy vztažené k podpoře A jsou určeny reakce sil ve vozících F_{ra} a F_{rb} .



Obr. 58) Momentová rovnováha vedení fixace

$$\sum M_{if_Fra} = 0 \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \frac{F_{pl}}{2} \cdot l_{fpl} - F_v \cdot l_{fv} - F_{rb} \cdot l_v = 0 \rightarrow F_{rb} &= \frac{F_{pl} \cdot l_{fpl} - F_v \cdot l_{fv}}{2 \cdot l_v} \\ &= \frac{7\,854.0,05475 - 4\,335.0,054}{2.0,123} = 796 \, N \end{aligned} \quad (26)$$

$$\sum F_{ify} = 0 \quad (27)$$

$$F_{rb} + F_{ra} = 0 \rightarrow F_{ra} = -F_{rb} = -796 \, N \quad (28)$$

$$F_{rvf} = \frac{F_{ra}}{x_{vfk}} = \frac{-796}{2} = -398 \, N \quad (29)$$

$$F_x = F_v + \frac{F_{pl}}{2} = 4\,335 + \frac{7\,854}{2} = 8\,262 \, N \quad (30)$$

$$F_{px} = \frac{F_x}{x_{vf}} = \frac{8\,262}{4} = 2\,061 \, N \quad (31)$$

$$F_{fekv} = |F_{rvf}| + |F_{px}| = |-398| + |2\,061| = 2\,459 \, N \quad (32)$$

$$f_{dyn} = \frac{C_{dyn}}{P} \rightarrow P = \frac{C_{dyn}}{f_{dyn}} = \frac{21\,180}{5} = 5\,295 \, N \quad (33)$$

$$P > F_{fekv} \rightarrow 5\,295 \, N > 2\,459 \, N \quad (34)$$

Kde:

F_{pl}	[N]	max. síla pístu DFM-100-80 při $p = 10 \, bar$, ze vzorce (2)
l_{fpl}	[m]	rameno působení síly F_{pl} , z obrázku 58
F_v	[N]	síla působící do vedení, ze vzorce (20)
l_{fv}	[m]	rameno působení síly F_v , z obrázku 58
l_v	[m]	vzdálenost vazeb A a B, z obrázku 58
F_{rb}	[N]	reakční síla ve vazbě B, ze vzorce (26)
F_{ra}	[N]	reakční síla ve vazbě A, ze vzorce (28)
x_{vf}	[-]	celkový počet vozíků na jedné koleji, z obrázku 36 a)
F_x	[N]	celková posouvající síla působící na vedení, ze vzorce (30)
x_{vfk}	[-]	celkový počet vozíků, z obrázku 36
F_{rvf}	[N]	výsledná reakční síla v jednom vozíku, ze vzorce (29)
F_{px}	[N]	posouvající síla na jednom vozíku, ze vzorce (31)
C_{dyn}	[N]	dynamická únosnost, $C_{dyn} = 21\,180 \, N$, dle [32]
f_{dyn}	[-]	bezpečnostní faktor, pro zatížení s vibracemi zvoleno $f_{dyn} = 5$, dle [32]
P	[N]	maximální dovolená zátěž jednoho vozíku, ze vzorce (33)
F_{fekv}	[N]	ekvivalentní zatížení vozíku, ze vzorce (32)

Z podstaty návrhu lineárního vedení jsou na jedné kolejnici dva vozíky viz Obr. 36 a) tudíž reakce od působení sil F_{ra} a F_{rb} je poloviční. Ekvivalentní zatížení je vztaženo na jeden vozík z celkových čtyř.

Reakce sil ve vazbách A a B jsou zaneseny v předchozím obrázku ve skutečné podobě.

Z předchozího výpočtu je patrné, že **zvolené lineární vedení spolu s vozíky je dostatečné pro danou aplikaci**. V následujícím výpočtu bude určena životnost vedení v hodinách, respektive letech provozu.

$$L_{mf} = \left(\frac{C_{dyn}}{f_w \cdot F_{fekv}} \right)^3 \cdot 50\,000 = \left(\frac{21\,180}{3,2 \cdot 459} \right)^3 \cdot 50\,000 = 1\,183\,337 \text{ m} \quad (35)$$

$$n_1 = \left(\frac{t_{pec} \cdot n_t}{x_{trn}} \right)^{-1} = \left(\frac{40,5}{440} \right)^{-1} = 2,2 \quad (36)$$

$$L_{hf} = \frac{L_{mf}}{2 \cdot l_{zf} \cdot n_1 \cdot 60} = \frac{1\,183\,337}{2,0 \cdot 0,22 \cdot 2,2 \cdot 60} = 203\,743 \text{ hod} \quad (37)$$

$$L_{pdf} = \frac{L_{hf}}{t_{sd} \cdot d_r} = \frac{203\,743}{24 \cdot 250} = 33,96 \text{ roku} \quad (38)$$

Kde:

C_{dyn}	[N]	dynamická únosnost, $C_{dyn} = 21\,180 \text{ N}$, dle [32]
f_w	[-]	faktor zatížení, pro zatížení s rázy zvoleno $f_w = 3$, dle [32]
F_{fekv}	[N]	ekvivalentní zatížení vozíku, ze vzorce (32)
t_{pec}	[min]	čas cyklu pece, $t_{pec} = 40 \text{ min}$, ze zadání, Tab. 2
n_t	[-]	počet trnů lisovaných v jednom cyklu $n_t = 5$, z obrázku 39
x_{trn}	[-]	počet trnů v cyklu pece, $x_{trn} = 440$, ze zadání, Tab. 2
L_{mf}	[m]	nominální životnost, ze vzorce (35)
l_{zf}	[m]	délka zdvihu, $l_{zf} = 22 \text{ mm}$, z obrázku 35
n_l	[-]	počet recipročních cyklů lisu za minutu, ze vzorce (36)
L_{hf}	[hod]	hodinová životnost, ze vzorce (37)
t_{sd}	[hod]	počet pracovních hodin za den, uvažován nepřetržitý provoz
d_r	[-]	pracovních dnů v roce, nejsou zahrnuty víkendy, přestávky, servis

Životnost lineárního vedení sestavy fixace trubek je dimenzováno na provoz po dobu téměř třiceti čtyř let. Tato hodnota je dostatečná.

6.4 Sestava lisování

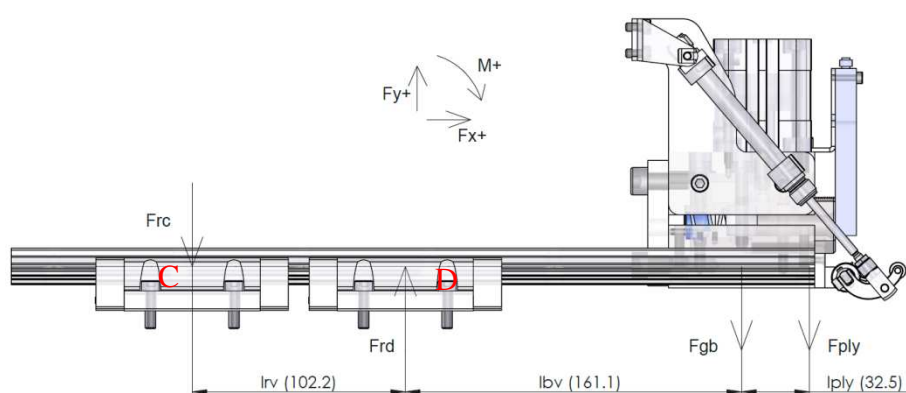
V následující kapitole budou provedeny kontrolní výpočty částí nacházejících se na sestavě lisování. Bude se jednat především o ověření vedení pneumatického válce lisování. Podkovy a drážkování, které fixuje pohyb těles s trny v axiálním směru, tedy ve směru lisování.

6.4.1 Lineární vedení lisování

Pozice beranu se nachází poměrně daleko od čela pístu a není s tímto pístem pevně spojen v podobě podkovy. Jediný pevný spoj mezi beranem a pohonem lisování je přes poměrně

malý dorovnávací píst. U tohoto pístu nelze uvažovat, že by měl nést zátěž, tudíž je použito lineární vedení. Toto lineární vedení absorbuje nerovnosti a nesouososti trubek a trnů a možné boční síly působící při lisování způsobené ovalitou trubek, opracování čel trubek a také možné lisování s nerovnoměrně obsazenými pozicemi. V předchozích výpočtech a simulacích bylo uvažováno s předpokladem, že žádné boční síly při lisování nevznikají, toto v reálném provozu neplatí.

Trny v beranu budou uloženy s vůlí. Bude tedy docházet k jejich přičení v podobě tolerančních polí trnu a tělesa na trny. Nejhorší možnost, která může nastat, je v případě, když budou obsaženy všechny pozice v beranu, trny budou vyrobeny v minimální toleranci a tělesa na trny v maximální toleranci. Následně se vymezí vůle tak, že budou tyto síly působit ve směru síly F_{gb} . Toleranční pole trnu je dle přílohy P2 - 0,05 mm, toleranční pole tělesa na trny je dle výkresu P5 + 0,5 mm. Výsledný úhel odklonu trnu od osy je tedy $\omega_t = 1,9^\circ$, změřeno v 3D programu Solidworks.



Obr. 59) Momentová rovnováha vedení beranu

$$m_b = m_{oc} + m_o = 18,5 + 5,5 = 24 \text{ kg} \quad (39)$$

$$\sum M_{il_Frc} = 0 \quad (40)$$

$$\begin{aligned} F_{ply} \cdot (l_{ply} + l_{bv} + l_{rv}) + F_{gb} \cdot (l_{bv} + l_{rv}) - F_{rd} \cdot l_{rv} &= 0 \rightarrow F_{rd} \\ &= \frac{F_{pl} \cdot \sin \omega_t \cdot (l_{ply} + l_{bv} + l_{rv}) + m_b \cdot g \cdot (l_{bv} + l_{rv})}{l_{rv}} \\ &= \frac{7854 \cdot \sin 1,9^\circ \cdot (0,0325 + 0,1611 + 0,1022) + 24 \cdot 9,81 \cdot (0,1611 + 0,1022)}{0,1022} \\ &= 1360 \text{ N} \end{aligned} \quad (41)$$

$$\sum F_{il} = 0 \quad (42)$$

$$\begin{aligned} F_{rc} + F_{rd} - F_{gb} - F_{ply} &= 0 \rightarrow F_{rc} = F_{gb} + F_{ply} - F_{rd} = 235 + 260 - 1360 \\ &= -865 \text{ N} \end{aligned} \quad (43)$$

$$F_{rvl} = \frac{F_{rd}}{x_{vl}} = \frac{1360}{2} = 680 \text{ N} \quad (44)$$

$$P > F_{rvl} \rightarrow 5295 \text{ N} > 680 \text{ N} \quad (45)$$

Kde:

m_{oc}	[N]	hmotnost obráběných částí a fixačních válců beranu, dle 3D dat
m_o	[N]	hmotnost ostatních částí beranu (přívod kabeláže a pneumatiky, snímače, šrouby, pružiny...), dle 3D dat
F_{pl}	[N]	max. síla pístu DFM-100-80 při $p = 10 \text{ bar}$, ze vzorce (2)
ω_t	[°]	odklon trnu od osy, $\omega_t = 1,9^\circ$, dle 3D dat
F_{ply}	[N]	y-nová složka síly pístu DFM-100-80 při vymezení trnů
l_{ply}	[m]	vzdálenost středu vzpříčení trnů od těžiště beranu, z obrázku 59
l_{bv}	[m]	vzdálenost těžiště beranu a vazby D, z obrázku 59
l_{rv}	[m]	vzdálenost vazeb C a D, z obrázku 59
F_{gb}	[N]	gravitační síla beranu, $F_{gb} = m_b \cdot g$
m_b	[N]	celková hmotnost beranu, ze vzorce (39)
F_{rd}	[N]	reakční síla ve vazbě D, ze vzorce (41)
F_{rc}	[N]	reakční síla ve vazbě C, ze vzorce (43)
x_{vl}	[-]	celkový počet vozíků za sebou v jedné vazbě, z obrázku 39
P	[N]	maximální dovolená zátěž jednoho vozíku, ze vzorce (33)
F_{rvl}	[N]	výsledná reakční síla v jednom vozíku (vazba D), ze vzorce (44)

Beran je uvažován jako tuhé těleso, tudíž u lineárního vedení není počítán krouticí moment způsobený gravitační silou beranu, kdy jeho těžiště je mezi dvojicí kolejnic.

V následujícím výpočtu je určena hodinová životnost vozíků podsestavy lisování. Životnost je určena pro více namáhaný vozík – vazba D.

$$L_{ml} = \left(\frac{C_{dyn}}{f_w \cdot F_{rvl}} \right)^3 \cdot 50\,000 = \left(\frac{21\,180}{3 \cdot 3.680} \right)^3 \cdot 50\,000 = 55\,957\,380 \text{ m} \quad (46)$$

$$L_{hl} = \frac{L_{ml}}{2 \cdot l_{zl} \cdot n_1 \cdot 60} = \frac{55\,957\,380}{2 \cdot 0,052 \cdot 2,60} = 4\,239\,195 \text{ hod} \quad (47)$$

$$L_{pdl} = \frac{L_{hl}}{t_{sd} \cdot d_r} = \frac{4\,239\,195}{24 \cdot 250} = 706,5 \text{ roku} \quad (48)$$

Kde:

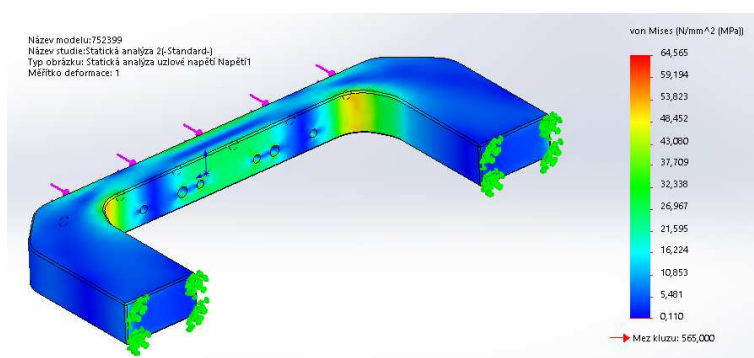
C_{dyn}	[N]	dynamická únosnost, $C_{dyn} = 21\,180 \text{ N}$, dle [32]
f_w	[-]	faktor zatížení, pro zatížení s rázy zvoleno $f_w = 3$, dle [32]
F_{rvl}	[N]	výsledná reakční síla v jednom vozíku (vazba D), ze vzorce (44)
L_{ml}	[m]	nominální životnost, ze vzorce (46)
l_{zl}	[m]	délka zdvihu, $l_{zf} = 50 \text{ mm}$, stejně jako v kapitole 6.1.1
n_1	[-]	počet recipročních cyklů lisu za minutu, ze vzorce (36)
L_{hl}	[hod]	hodinová životnost, ze vzorce (47)
t_{sd}	[hod]	počet pracovních hodin za den, uvažován nepřetržitý provoz
d_r	[-]	počet pracovních dnů v roce, nejsou zahrnuty víkendy, přestávky, servis

Z předchozího výpočtu je patrné, že nominální životnost roste významně s třetí mocninou. U podstavy lisování je zatížení jednotlivých vozíků poměrně malé, **životnost vozíku je proto dostačující**. Významně životnosti také přispívá poměrně krátká dráha a nízká rychlost (takt). V kombinaci s doporučením a proškolením obsluhy rovnoměrného obsazování pozic trubkami od středu je zabezpečena poměrně dlouhá životnost lineárního vedení. Obsazení pozic může být také zabezpečeno programovou podmínkou.

Poznámka: Životnost lineárních vedení klesne v závislosti na zvýšení taktu v robotizované buňce (viz kapitola 8.6). Důvodem je zvýšení efektivity linky, respektive zrychlení taktu, který bude v závislosti na okolnostech dosahovat hodnoty 7 cyklů/min. Pro sestavu fixace bude platit životnost v oblasti přibližně 10,5 roků.

6.4.2 Podkova

Pracovní síla válce lisování je přenášena na beran tzv. podkovou, která je uložena axiálně vůči osám trnu, potažmo trubek. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.2.2, v následující MKP simulaci je podkova rovnoměrně zatížena maximální silou válce lisování.



Obr. 60) Napětí na podkově

Koncentrace napětí se nachází v oblasti rádiusů u vnitřního zkosení. Nicméně tato oblast není kritická, výsledné napětí v této oblasti je cca do 60 MPa.

$$k_{po} = \frac{R_{e-c}}{\sigma_{po}} = \frac{430}{60} = 7,2 \quad (49)$$

Kde:

R_{e-c} [MPa] mez kluzu C45E, $R_e = 430 \text{ MPa}$, dle [18]

σ_{po} [MPa] maximální napětí na podkově, z obrázku 60

Podkova je dostatečně dimenzována k přenesení maximální síly od pístu lisování. Koeficient bezpečnosti je zde více než 7, mohl by být snížen.

6.4.3 Pneumatický pohon dorovnání trnů

Maximální síla všech pěti pružin při dorovnávání trnů byla určena ve vzorci (13) $F_{pc} = 307 \text{ N}$. Nyní je třeba ověřit pneumatický pohon dorovnání, zda bude mít dostatečnou sílu k překonání pružin při nejhorší možné variantě založení. Pracovní tlak je redukován na 4 bary.

$$F_{pdt} = p_{dt_4b} \cdot S_{pdt} = p_{dt_4b} \cdot \frac{\pi \cdot d_{pdt}^2}{4} = 400\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} = 503 \text{ N} \quad (50)$$

$$F_{pc} < F_{pdt} \rightarrow 307 \text{ N} < 503 \text{ N} \quad (51)$$

Kde:

p_{dt_4b} [Pa]	tlak pístu ADN-40-10, $p_{dt_4b} = 400\,000\text{ Pa}$
S_{pdt} [m ²]	plocha pístu ADN-40-10
d_{pdt} [m]	průměr pístu ADN-40-10, $d_{pdt} = 0,04$ dle [15]
F_{pc} [N]	síly od všech pružin v beranu, ze vzorce (13)
F_{pdt} [N]	pracovní síla dorovnání trnů při $p = 4\text{ bar}$, ze vzorce (50)

Pneumatický pohon ADN-40-10 je tedy dostatečně dimenzován pro tento výrobní krok, jako alternativa by mohl být použit píst o třídu nižší, ale tato změna není vyžadována.

6.4.4 Drážkování

Jako poslední kontrolní výpočet podestavy lisování bude ověřeno drážkování na fixační desce. V kontrolním výpočtu je aplikována 1/5 síly válce DFM-100-80. Vyšší síla na jednu fixační desku nebude působit. V případě nejméně vhodného fixování bude tlak rozdělen mezi drážky dle následujícího předpokladu.

Pozice drážek, které se nacházejí u zahluobeného otvoru pro šroub, nejsou uvažovány. Dále je v simulaci uvažováno s nerovnostmi drážkování a s nerovnoměrným kontaktem jednotlivých drážek způsobeným výrobními tolerancemi. Je tedy kalkulováno, že v daný okamžik je skutečně zatížena pouze polovina kontaktů.

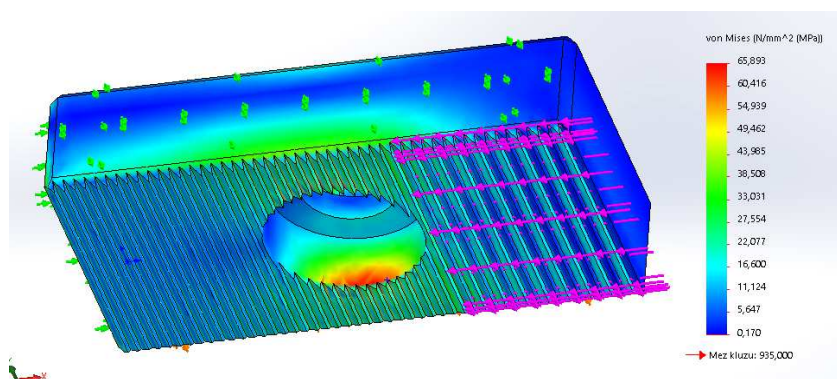
$$F_{dc} = \frac{F_{pl}}{n_{pb}} = \frac{7\,854}{5} = 1\,571\text{ N} \quad (52)$$

$$F_{d1} = \frac{F_{dc}}{n_{ds}} = \frac{1\,571}{9} = 175\text{ N} \quad (53)$$

Kde:

F_{pl} [N]	max. síla pístu DFM-100-80 při $p = 10\text{ bar}$, ze vzorce (2)
n_{pb} [-]	počet pozic v beranu, $n_{pb} = 5$, dle obrázku 38
F_{dc} [N]	maximální síla na jedné fixační desce, ze vzorce (52)
n_{ds} [-]	uvažovaný počet skutečně zatížených drážek, $n_{ds} = 9$

Na následujícím obrázku je vidět výsledné napětí na fixační desce, kde každá drážka je zatížena silou $F_{d1} = 175\text{ N}$.



Obr. 61) Napětí na fixační desce

$$k_{fd} = \frac{R_{e_no}}{\sigma_{fd}} = \frac{935}{65} = 14,2 \quad (54)$$

Kde:

R_{e_no}	[MPa]	mez kluzu 1.2316, $R_e = 935 \text{ MPa}$, dle [18]
σ_{fd}	[MPa]	maximální napětí na fixační desce, z obrázku 61

Jak vyplývá z výsledku simulace, bylo by možné použít ještě jemnější drážkování. **Pro danou aplikaci je ale krok, resp. rozteč drážek, 1 mm dostatečná** a nebude se upravovat.

6.5 Pneumatický systém

V poslední části šesté kapitoly budou provedeny kontrolní výpočty zvolených prvků vzduchoinstalace. Následující výpočty jsou provedeny dle katalogu firmy SMC. [35]

6.5.1 Násobič tlaku

Pneumatický válec lisování má omezený maximální tlak na 10 barů a bude tlakován téměř na tuto hodnotu. Pneumatický válec fixace bude také tlakován s využitím multiplikátoru. Firemní rozvod stlačeného vzduchu dosahuje 6 barů, nicméně tento tlak kolísá v závislosti na odběru v dalších částech výrobní haly a mohl by nastat případ, kdy tlak v rozvodu nebude dostatečný. Vstupní tlak do násobiče bude tedy omezen na 5,5 barů, což zamezí účinku případných pulzací ve firemním rozvodu.

$$Q_n = \left[\left(\frac{\pi \cdot d_{pl}^2 \cdot v_{pl_s}}{4 \cdot 10^6} \cdot \frac{p_{2l} + 0,101}{0,101} \right) + \left(\frac{\pi \cdot d_{pf}^2 \cdot v_{pf_s}}{4 \cdot 10^6} \cdot \frac{p_{2f} + 0,101}{0,101} \right) \right] \cdot 60 \cdot n_1$$

$$= \left[\left(\frac{\pi \cdot 100^2 \cdot 40}{4 \cdot 10^6} \cdot \frac{1 + 0,101}{0,101} \right) + \left(\frac{\pi \cdot 80^2 \cdot 93}{4 \cdot 10^6} \cdot \frac{0,6 + 0,101}{0,101} \right) \right] \cdot 60 \cdot 2,2 = 880,3 \text{ L/min} \quad (55)$$

$$Q_n < Q_b \rightarrow 880,3 \text{ L/min} < 650 \text{ L/min} \quad (56)$$

Kde:

d_{pl}	[mm]	průměr pístu DFM-100-80, $d_{pl} = 0,1$ dle [15]
v_{pl_s}	[mm/s]	skutečná rychlost pístu lisování, redukována na $v_{pl_s} = 40 \text{ mm/s}$
d_{pf}	[mm]	průměr pístu DSBG-80-125, $d_{pl} = 0,08$ dle [15]
v_{pf_s}	[mm/s]	skutečná rychlost pístu fixace, redukována na $v_{pf_s} = 93 \text{ mm/s}$
p_{2l}	[MPa]	vyžadovaný vstupní tlak pístu lisování $p_{2l} = 1 \text{ MPa}$
p_{2f}	[MPa]	vyžadovaný vstupní tlak pístu fixace $p_{2f} = 0,6 \text{ MPa}$
n_1	[-]	počet recipročních cyklů lisu za minutu, ze vzorce (36)
Q_n	[L/min]	vyžadovaný průtok stlačeného vzduchu, ze vzorce (55)
Q_b	[L/min]	maximální průtok stlačeného vzduchu násobiče VBA43A-F04GN při tlaku 11 barů, $Q_b = 650 \text{ L/min}$, dle katalogu [35]

Požadovanému průtoku dle katalogu odpovídá varianta násobiče s označením VBA43A-F04GN (viz následující obrázek) [35], který bude tlakovat do maximálního násobku vstupního redukováného tlaku 0,55 MPa, tudíž 1,1 MPa.

Ze vzorce (56) je patrné, že **násobič není schopný při daném tlaku dodat požadovaný průtok**, bude proto potřeba využít tlakové nádoby (zásobníku stlačeného vzduchu).



Obr. 62) Násobič tlaku SMC [35]

6.5.2 Zásobník stlačeného vzduchu

Na základě vypočteného průtoku z předchozí kapitoly bude vybrána odpovídající tlaková nádoba opět od firmy SMC.

$$T_{ls} = \frac{l_{max}}{v_{pl_s}} = \frac{42,6}{40} = 1,065 \text{ s} \quad (57)$$

$$T_{fs} = \frac{l_{fs}}{v_{pf_s}} = \frac{80}{93} = 0,86 \text{ s} \quad (58)$$

$$p_3 = p_r \cdot r_m = 0,55 \cdot 2 = 1,1 \text{ MPa} \quad (59)$$

$$\begin{aligned} V_n &= \left(Q_n - \frac{Q_b}{2} \right) \cdot \left(\frac{T_{ls} \cdot \frac{K}{60}}{(p_3 - p_{2l}) \cdot 9,9} + \frac{T_{fs} \cdot \frac{K}{60}}{(p_3 - p_{2f}) \cdot 9,9} \right) \\ &= \left(880,3 - \frac{650}{2} \right) \cdot \left(\frac{1,065 \cdot \frac{1}{60}}{(1,1 - 1) \cdot 9,9} + \frac{0,86 \cdot \frac{1}{60}}{(1,1 - 0,6) \cdot 9,9} \right) \\ &= 11,6 \text{ L} \end{aligned} \quad (60)$$

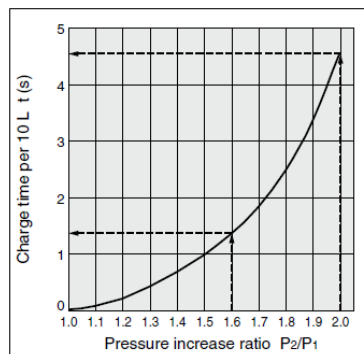
Kde:

l_{max}	[mm]	maximální dráha lisování, dle Tab. 5, se započtením přibližně 12 % zkrácení délky trubky vlivem rozšíření, $l_{max} = 42,6 \text{ mm}$, dle [8]
v_{pl_s}	[mm/s]	skutečná rychlost pístu lisování, redukována na $v_{pl_s} = 40 \text{ mm/s}$
l_{fs}	[mm]	skutečný zdvih pístu fixace, $l_{fs} = 80 \text{ mm}$, dle 3D dat
v_{pf_s}	[mm/s]	skutečná rychlost pístu fixace, redukována na $v_{pf_s} = 93 \text{ mm/s}$
p_r	[MPa]	vstupní tlak do násobiče $p_r = 0,55 \text{ MPa}$, dle 6.5.1
r_m	[-]	poměr zvýšení tlaku, $r_m = 2$, dle [35]
Q_n	[L/min]	vyžadovaný průtok stlačeného vzduchu, ze vzorce (55)

Q_b	[L/min]	maximální průtok stlačeného vzduchu násobiče VBA43A-F04GN při tlaku 11 barů, $Q_b = 650 \text{ L/min}$, dle katalogu [35]
T_{ls}	[s]	skutečný operační čas lisování, ze vzorce (57)
K	[-]	písty uvažovány jako jednočinné, zpětný pohyb není realizován přes násobič, $K = 1$, dle [35]
T_{fs}	[s]	skutečný operační čas fixace, ze vzorce (58)
p_3	[MPa]	maximální tlak v zásobníku stlačeného vzduchu, ze vzorce (59)
p_{2l}	[MPa]	vyžadovaný vstupní tlak pístu lisování $p_{2l} = 1 \text{ MPa}$
p_{2f}	[MPa]	vyžadovaný vstupní tlak pístu fixace $p_{2f} = 0,6 \text{ MPa}$

Vypočtený zásobník stlačeného vzduchu má požadovaný objem $V_n = 11,6 \text{ L}$. Bude tedy zvolen nejbližší vyšší o objemu 20 L. VBAT20S1-SV. [35]

V následujícím výpočtu bude provedeno ověření potřebné pauzy mezi jednotlivými cykly pro dobítí zásobníku stlačeného vzduchu. Tento výpočet vychází z následujícího grafu poměrů jednotlivých tlaků a času dobíjení desetilitrového zásobníku.



Obr. 63) Graf plnění zásobníku stlačeného vzduchu [35]

$$\frac{p_3}{p_1} = \frac{1,1}{0,55} = 2 \quad (61)$$

$$\frac{p_{2l}}{p_1} = \frac{1}{0,55} = 1,82 \quad (62)$$

$$T_p = \left(\frac{V_n}{10}\right) \cdot \frac{T_2 - T_1}{Z_n} = \left(\frac{11,6}{10}\right) \cdot \frac{4,5 - 2,5}{1} = 2,32 \text{ s} \quad (63)$$

$$T_s = T_c - T_o = 27,27 - 2 = 25,27 \text{ s} \quad (64)$$

$$T_p \leq T_s \rightarrow 2,32 \text{ s} \leq 25,27 \text{ s} \quad (65)$$

Kde:

p_3	[MPa]	maximální tlak v zásobníku stlačeného vzduchu, ze vzorce (59)
p_1	[MPa]	vstupní tlak do násobiče $p_1 = 0,55 \text{ MPa}$, dle 6.5.1
p_{2l}	[MPa]	vyžadovaný vstupní tlak pístu lisování $p_{2l} = 1 \text{ MPa}$
V_n	[L]	požadovaný objem zásobníku, ze vzorce (60)

T_2	[s]	čas dobíjení na tlak p_3 , odečteno z obrázku 63
T_l	[s]	čas dobíjení na tlak p_{2l} , odečteno z obrázku 63
Z_n	[-]	počet násobičů tlaku, určeno $Z_n = 1$
T_p	[s]	kritický čas dobíjení zásobníku stlačeného vzduchu, ze vzorce (63)
T_c	[s]	čas cyklu, vychází z $n_l = 2,2 \text{ cyklu/min}$, tzn. $T_c = 27,27 \text{ s}$
n_l	[-]	počet recipročních cyklů lisu za minutu, ze vzorce (36)
T_o	[s]	operační čas fixace a lisování při max. odběru s rezervou, ze vzorce (57 a 58)
T_s	[s]	prostoje cyklu, zakládání a vyjímání dílů atd., ze vzorce (64)

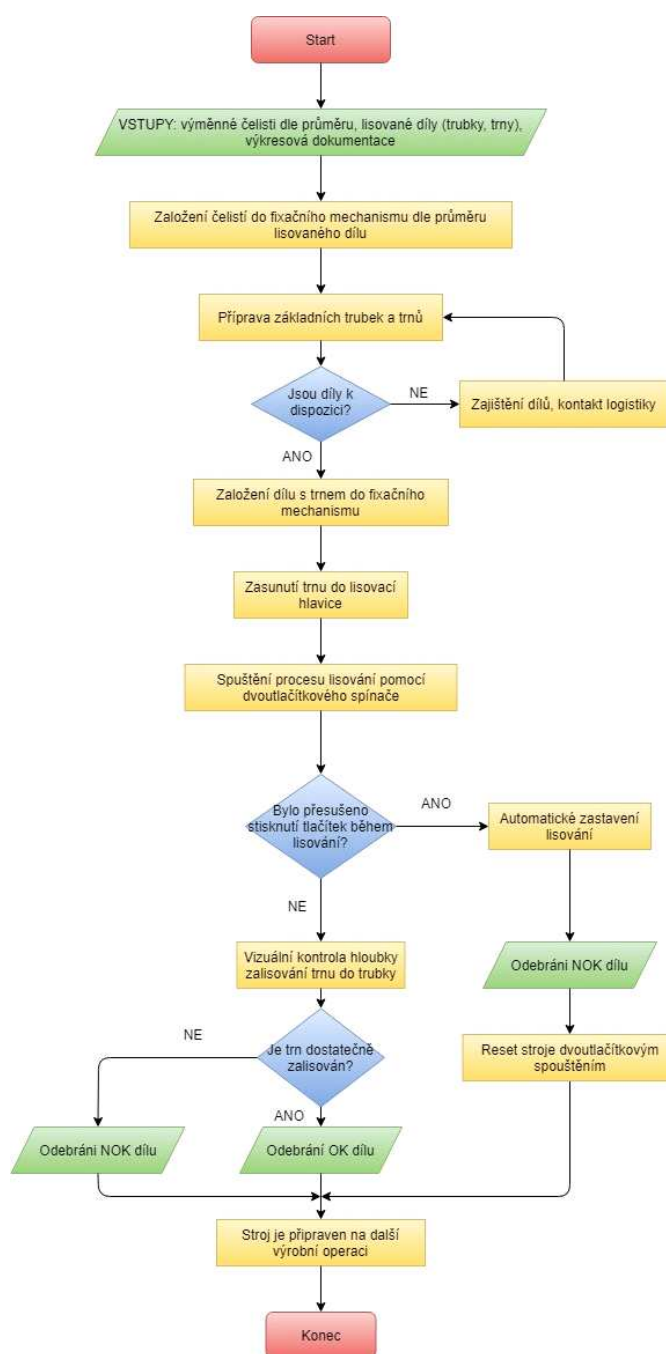
Z předchozího výpočtu je patrné, že **navržená vzduchoinstalace je dostatečná pro tuto aplikaci**. A to včetně rezervy pro případ, kdy budou trny lisovány v rychlejší taktu. Např. když bude mít obsluha předpřipravené založení trnů do trubek a nebude věnovat čas přidruženým úkonům. Ve výpočtu je dle literatury počítáno s požadovaným objemem, ovšem skutečný objem zásobníku je o 8 litrů větší. Zásobník tedy disponuje dostatečnou rezervou. Významná bude také rychlost dobíjení zásobníku při implementaci lisu do robotizovaného pracoviště, kde bude takt výroby ještě vyšší. Detailněji bude o této problematice pojednáno v kapitolách 7.2 a 8.6.

7 VIZUALIZACE LISU

Vývoj a výroba lisu byla započata s dostatečným časovým předstihem, proto může být v následující kapitole popsán průběh výroby, testování a předání do série. Stroj jako takový obsahuje veškeré náležitosti pro provoz ve výrobním závodě.

7.1 Vizualizace pracovního cyklu, vývojový diagram

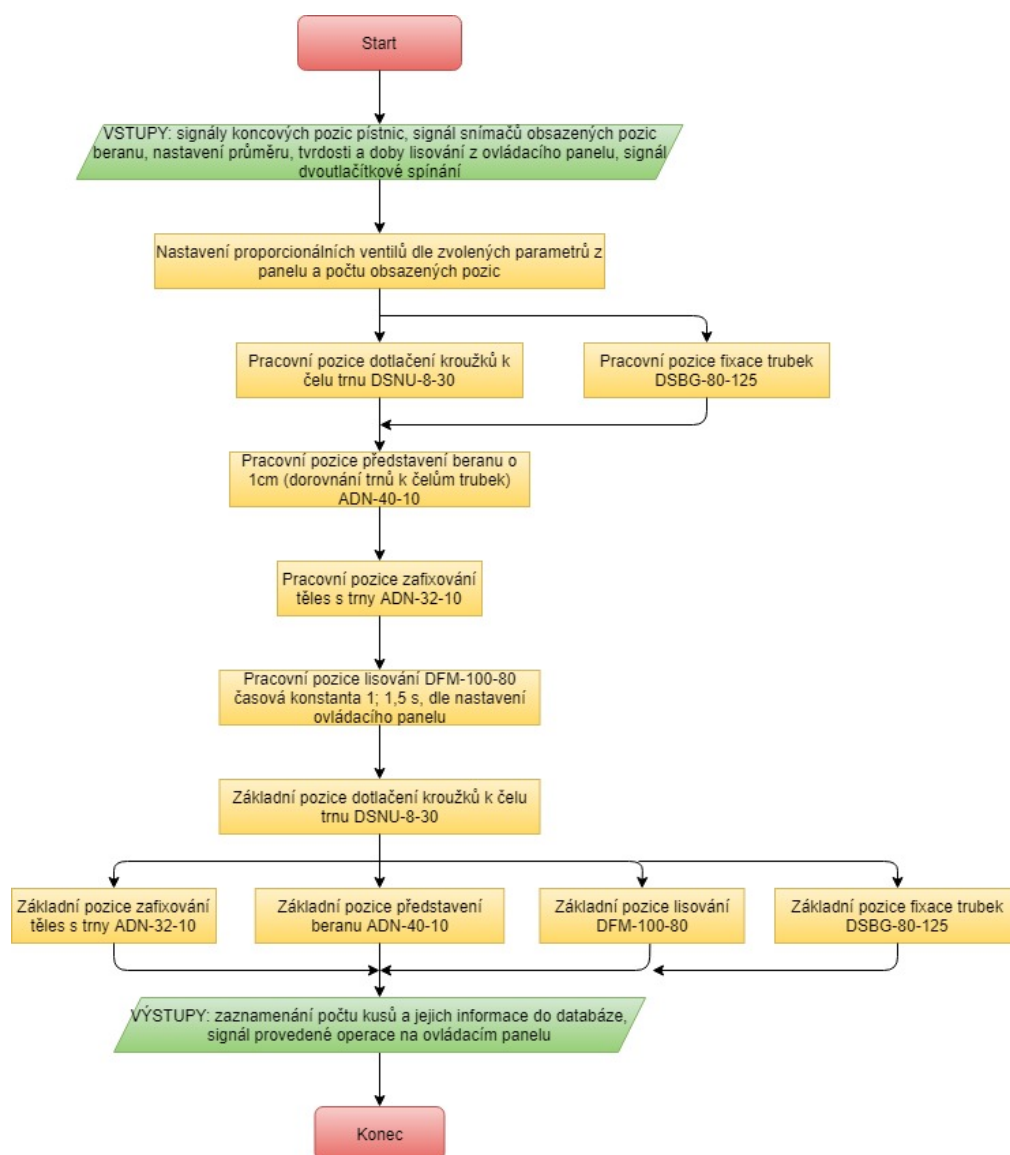
Na základě předchozích kapitol je na následujícím obrázku k vidění harmonogram práce obsluhy.



Obr. 64) Vývojový diagram pracovního postupu [8][10]

Konstrukčním řešením bylo dosaženo výrazného zjednodušení celého výrobního procesu. Stoj, byť stále v podobě poloautomatu, je schopen mechanickou výbavou zajistit správnost zalisování trnů Obr. 23). Další nesporná výhoda vůči předchůdci je odstranění mechanické fixace trubek, která značně usnadní fyzicky náročnou práci operátorům a zbaví je této monotónní činnosti.

Následuje diagram pracovního cyklu stroje. Jedná se převážně o sekvenci jednotlivých příkazů z řídicího PLC. Konkrétní podobu řídicího programu vytvořilo elektro oddělení na základě společných konzultací.



Obr. 65) Vývojový diagram řídicího programu [8][10]

Jednotlivé pohyby válců jsou kontrolovány vnitřním měřením času PLC, které při nedojetí válce na koncovou pozici čidla při překročení časového limitu ukončí celou výrobní operaci, uvede stroj do stavu provozu neschopného a vypíše chybu s požadavkem přivolání servisního technika (údržby). Po provedení opravy a odblokování v servisním režimu, kde lze jednotlivé kroky ovládat ručně z řídicího panelu, je stroj opětovně uveden do provozu.

Za účelem zjednodušení předchozího diagramu nejsou záměrně uvedeny výstupy z magnetických čidel jednotlivých válců, diagram by se stal velice nepřehledným. Následné kroky jsou určeny signály těchto čidel, pouze pozice lisování není určena výstupem čidla, ale časovou prodlevou, která reflektuje různé délky trnů. Možným řešením by bylo lineární odměřování. Při využití této zpětné vazby by bylo ovšem potřeba buď zadávat délky trnů na dotykovém panelu, nebo použít čtečku, kdy by každý trn byl vybaven kódem. Obě možnosti by byly pro obsluhovaný lis poměrně časově náročné a lisování s využitím časové konstanty se při testování ukázalo jako dostatečné. Jiná situace ovšem nastane při nasazení lisu v robotizovaném pracovišti. Tam budou palety s trny vybaveny čipem, snímaným RFID čtečkou.

7.2 Časový harmonogram pracovního cyklu lisu

Určit reálný takt stroje je poměrně obtížné. Stále do jisté míry hraje roli zručnost obsluhy, kolik pracovního fondu je využito samotnou prací, atd. Požadovaný takt stroje dle zadání 440 trnů za 40 minut odpovídá jednomu cyklu přibližně za 27 s. V následujícím výpočtu je tudíž určen strojový čas.

Jednotlivé válce nejsou provozovány v oblasti maximálních rychlostí, vstupní tlaky do jednotlivých válců jsou škrceny a redukovány za účelem rovnoměrného a klidného chodu bez nežádoucích nárazů, vibrací atd., protože většina válců nedojíždí do koncové pracovní pozice, kde je tlumení. Válce kromě pohonu lisování a fixace, jejichž provozní rychlost je určena v kapitole 6.5.2, budou provozovány přibližně v rozsahu 1/2 až 1/10 maximální rychlosti. Pohyb do základních pozic jednotlivých válců bude omezován méně, protože vždy budou dojíždět na koncové tlumení.

Za účelem zkrácení celkového výrobního času jsou některé operace, u kterých je to možné, sjednoceny a probíhají simultánně, u těchto sdružených operací je započítán čas nejdelší operace. Při pohybu do pracovní pozice se jedná o sdružení dotlačení kroužků a fixaci trubek. Při pohybu do základní pozice se jedná o fixování těles, dorovnání trnů, lisování a fixaci. Výpočet strojového času je spíše orientační, proto v následujícím výpočtu nejsou vzaty v potaz odpory proti pohybu, čepové tření, tření valivého vedení, zrychlování a dojíždění válců.

$$t_{dtp} = \frac{l_{dt}}{v_{dt}} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ s} \quad (66)$$

$$t_{fpp} = \frac{l_{ft}}{v_{ft}} = \frac{1,5}{200} = 0,0075 \text{ s} \quad (67)$$

$$t_{dkzp} = \frac{l_{dk}}{v_{dk}} = \frac{30}{460} = 0,065 \text{ s} \quad (68)$$

$$t_{lzp} = \frac{l_{max}}{v_{lzp}} = \frac{42,6}{80} = 0,53 \text{ s} \quad (69)$$

$$t_s = t_{fspp} + t_{dtp} + t_{fpp} + t_{lspp} + t_{dkzp} + t_{lzp} \\ = 0,86 + 0,1 + 0,0075 + 1,5 + 0,065 + 0,53 = 3,06 \text{ s} \quad (70)$$

$$t_m = t_c - t_s = 27,27 - 3,06 \text{ s} = 24,21 \text{ s} \quad (71)$$

$$E_l = \frac{t_s}{t_c} = \frac{3,06}{27,27} = 0,112 \quad (72)$$

Kde:

l_{dt}	[mm]	délka zdvihu válce dorovnání trnů, ADN-40-10, $l_{dt} = 10 \text{ mm}$, dle [15]
v_{dt}	[mm/s]	rychlost výsunu válce ADN-40-10, zvoleno $1/4 v_{max}$, dle [15]
l_{ft}	[mm]	délka zdvihu válce fixace těles s trny, $l_{ft} = 1,5 \text{ mm}$, dle 3D dat
v_{ft}	[mm/s]	rychlost výsunu válce ADN-32-10, zvoleno $1/2 v_{max}$, dle [15]
l_{dk}	[mm]	délka zdvihu válce dotlačení kroužků, $l_{dk} = 30 \text{ mm}$, dle [15]
v_{dk}	[mm/s]	rychlost výsunu válce DSNU-8-30, zvoleno $1/5 v_{max}$, dle [15]
l_{max}	[mm]	maximální dráha lisování, dle tabulky 5, se započtením přibližně 12 % zkrácení délky trubky vlivem rozšíření, $l_{max} = 42,6 \text{ mm}$, dle [8]
v_{lzp}	[mm/s]	rychlost zasunutí válce DFM-100-80, zvoleno $1/5 v_{max}$, dle [15]
t_{fspp}	[s]	čas výsunu válce fixace do pracovní polohy, ze vzorce (58)
t_{dtp}	[s]	čas výsunu válce dorovnání trnů do pracovní polohy, ze vzorce (66)
t_{ftpp}	[s]	čas výsunu válce fixace těles s trny do pracovní polohy, ze vzorce (67)
t_{lspp}	[s]	čas výsunu válce lisování trnů do pracovní polohy, vychází ze vzorce (57) a kapitoly 4.5.5, zvolen krátký čas 1 sec, dlouhý čas 1,5 sec, ve výpočtu uvažováno s delším časem lisování
t_{dkzp}	[s]	čas zasunutí válce dotlačení kroužků do základní polohy, ze vzorce (68)
t_{lzp}	[s]	čas zasunutí válce lisování trnů do základní polohy, ze vzorce (69)
t_c	[s]	čas cyklu, $t_c = 27,27 \text{ s}$, vychází ze vzorce (36)
t_s	[s]	strojový čas cyklu, $t_s = 3,06 \text{ s}$, ze vzorce (70)

Výsledný strojový čas je dle předběžného výpočtu 3,06, resp. 2,56, sec v závislosti na zvoleném parametru času lisování pro dlouhý, resp. krátký čas lisování.

Zajímavým parametrem je také teoretické vytížení stroje, kdy stroj vytváří přidanou hodnotu. Ta je pouze $E_l = 11 \%$. Také na základě tohoto vytížení bude pracoviště dále automatizováno s využitím robotizovaného zakládání, se snahou zvýšit využití kapacity stroje.

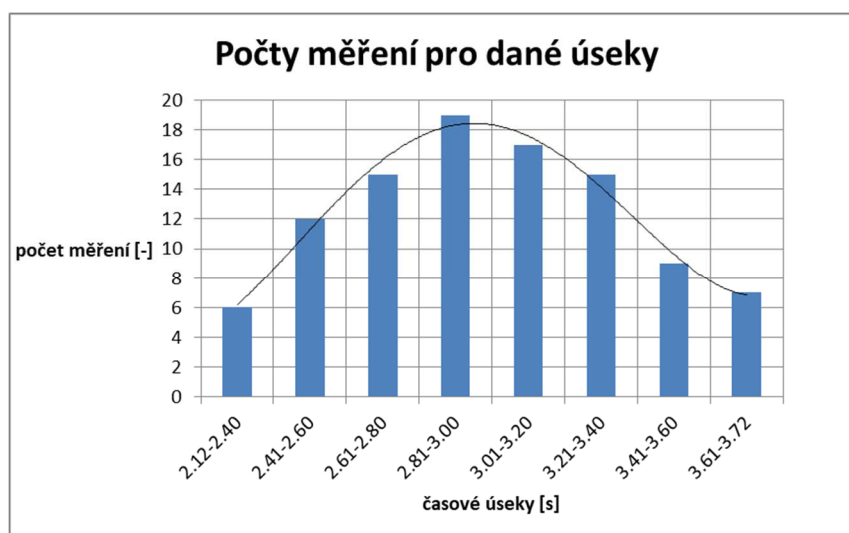
Rychlost výroby byla validována přímo měřením taktu jak pracovníků, tak stroje. Při přímém měření výrobního času byly naměřeny hodnoty v rozptylu od 2,12 do 3,72 sec (viz následující tabulka). Měření bylo provedeno na stovce vzorků. Byly testovány trubky různých průměrů, materiálů a délek trnů pro oba časy lisování, tj. 1 a 1,5 sec. Rozptyl naměřeného času je dán především manuálním spouštěním a vypínáním stopek, dále pak zanedbanými veličinami ve výpočtu, které ovšem u takto krátkých kroků nehrají téměř žádnou roli. Dalším významným parametrem je nastavení průtoku stlačeného vzduchu k jednotlivým válcům, který zcela jistě přesně nekoresponduje se zvolenými rychlostmi ve výpočtu. Vážený průměr evaluačního měření strojového času je dle následující tabulky $\bar{x} = 2,9855 \text{ s}$. Měření by šlo dále zpřesňovat měřením přímo v PLC, ale pro ověření teoretického výpočtu je toto měření dostačující. V době měření ještě nebylo PLC vybaveno touto možností, tudíž jsme museli přistoupit k ručnímu měření.

Tab 8) Tabulka naměřených časů dle počtu pro jednotlivé úseky [8]

Rozdělení na úseky [s]	Počet měření [-]	Střed časového úseku [s]
2.12-2.40	6	2.26
2.41-2.60	12	2.5
2.61-2.80	15	2.7
2.81-3.00	19	2.9
3.01-3.20	17	3.1
3.21-3.40	15	3.3
3.41-3.60	9	3.5
3.61-3.72	7	3.67
Σ	100	
\bar{x}		2.9855

Naměřený čas téměř přesně odpovídá teoreticky spočítanému času cyklu 3,06, resp. 2,56 sec.

Rozložení jednotlivých měření podrobněji dokresluje následující graf. Rozložením dat matematického souboru hodnot odpovídá očekávání, kdy nejvíce zastoupené naměřené časy se pohybují v rozmezí 2,81 – 3,00 sec.



Obr. 66) Naměřená data pro zvolené úseky [8]

Střední čas cyklu vypočteného dle zadání je 27 sec/cyklus, z čehož plyne, že obsluha má v průměru čas na manipulaci 24 sec v závislosti na principu výroby, např. když si obsluha připraví větší počet trubek a trnů a následně je pouze zakládá a vyjímá ze stroje. Nicméně tento čas je považován za dostatečný.

Při měření celkového času operace bylo dosaženo nejrychlejšího provedení kompletní operace za 11 sec (uvažováno s kompletním založením a vyjmutím trubek na všech pěti pozicích).

V následujícím výpočtu je proto provedeno ověření zásobníku stlačeného vzduchu při odběru cyklu trvajícím 11 sec.

$$T_{cm} = T_m - T_o = 11 - 2 = 9 \text{ s} \quad (73)$$

$$T_p \leq T_{cm} \rightarrow 2,32 \text{ s} \leq 9 \text{ s} \quad (74)$$

Kde:

T_m	[s]	nejrychlejší naměřený čas cyklu, $T_m = 11$ s, při testovacím měření [8]
T_o	[s]	operační čas fixace a lisování při max. odběru s rezervou, ze vzorce (57 a 58)
T_p	[s]	kritický čas dobíjení zásobníku stlačeného vzduchu, ze vzorce (63)
T_{cm}	[s]	prostoje cyklu, zakládání a vyjímání dílů atd., ze vzorce (73)

I pro případ taktu trvajícího 11 sec, je navržená vzduchoinstalace dostatečná.

Z výše popsanych závěrů a kontrolního měření je patrné, že stroj je schopný vyrobit požadovaný počet 440 trnů za 40 minut, dokonce je schopný tento požadavek přeplnit. Tímto bylo také dosaženo zvýšení efektivity procesu o 100 % a úspory jednoho operátora. **Z tohoto pohledu lze cíle zadavatele považovat za splněné.**

7.3 Výroba, montáž a oživení automatického lisu

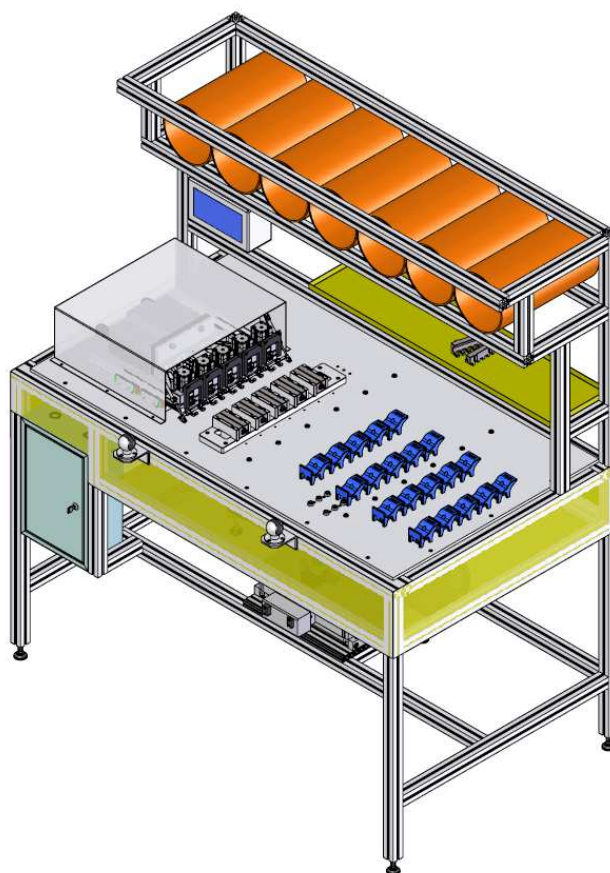
Jak již bylo v předchozích kapitolách popsáno, montáž lisu včetně elektro/pneumatické instalace probíhala na půdě firmy FRAENKISCHE CZ s.r.o. za spolupráce s externími dodavatelskými firmami a obráběcími dílnami. Nejobtížnější částí procesu montáže a oživení bylo testování pohonů fixace a lisování pro veškeré průměry a materiály trubek. Toto testování proběhlo na stovkách vzorků a výstupem byly oddělení kvality schválené produkty, které byly následně uvolněny pro předání do série. Následovala fáze formálního charakteru, a to provedení elektro revize, CE certifikace, připravení bezpečnostních listů, návodu k obsluze a konečné předání do sériové výroby.

Lis, je nyní plně nasazen v nepřetržitém provozu a podíl NOK dílů je minimální. Příčinou výroby NOK dílů je spíše než chyba způsobená provedením lisu, nedostatečná kvalita dodaných polotovarů trubek. Jedná se především o nevyhovující kolmost řezu hrdla trubky, přílišnou ovalitu této části trubky nebo také dodané trubky s poškozeným povrchem, kde tvářecí operace může iniciovat prasknutí trubky.

Dodávky jednotlivých polotovarů neprocházejí 100 % kontrolou, ve většině případů by také odhalení vady bylo velmi obtížné. Popsané nedostatky se ale rychle projeví a odhalení takto znehodnocených dílů obsluhou lisu je v podstatě okamžité. Poruchy trubek v oblasti nalisování trnů jsou po této tvářecí operaci makroskopické. Pro případ mikrotrhlin a okem nepozorovatelných defektů jsou na úseku montáží prováděny tlakové zkoušky, které přesně určí únik zkušebního média, v tomto případě vzduchu.

7.3.1 Navržený lis

Navržený lis reprezentuje následující obrázek z 3D programu Solidworks. Některé části jako rám, tubusy na trubky a rozvaděč jsou pouze vizualizací. Detaily především v oblasti na odkládání trubek byly průběžně upravovány v průběhu montáže, tak, aby byla maximalizována ergonomie pracoviště.

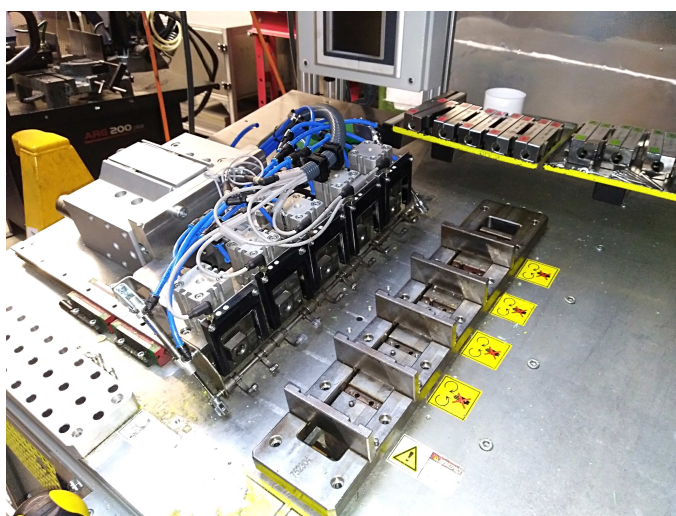


Obr. 67) 3D pohled na zkonstruovaný lis [8]

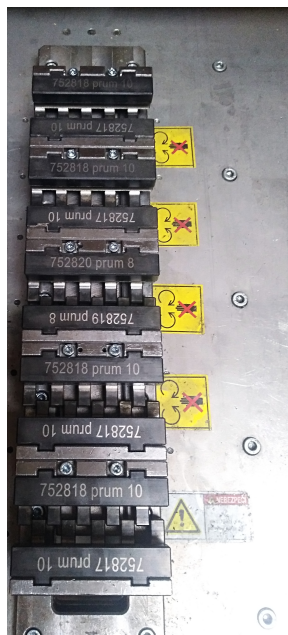
7.3.2 Vyrobený lis

Na následujících obrázcích je zobrazen lis z několika pohledů, které dostatečně dokreslují celou stavbu a testování zařízení. Fotografie byly pořízeny v průběhu montáže.

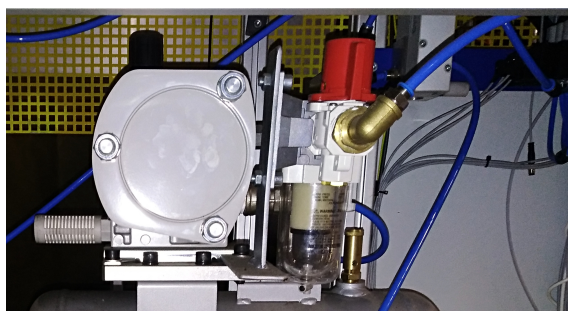
U stroje jsou dodrženy především bezpečnostní požadavky, je provedena elektrorevize a CE certifikace.



Obr. 68) Pohled na pracovní prostor lisu [8]



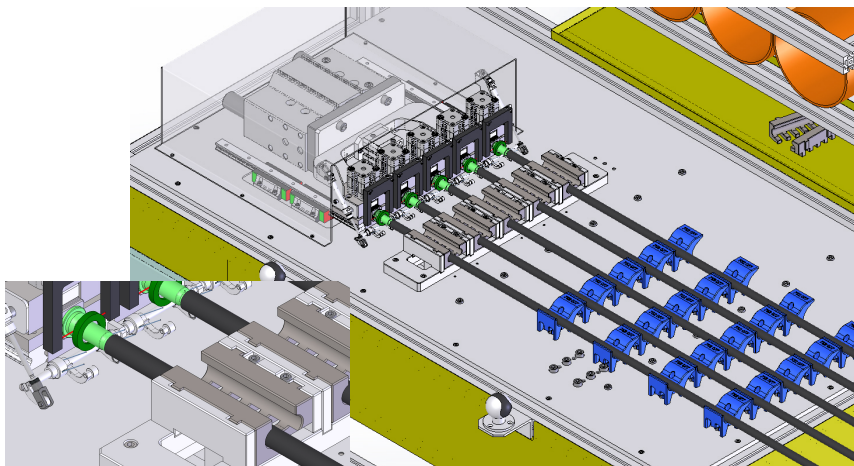
Obr. 69) Lůžka s čelistmi na fixování trubek, žluté výstražné nálepky v prostoru před lůžky upozorňují na hrozící nebezpečí zmáčknutí [8]



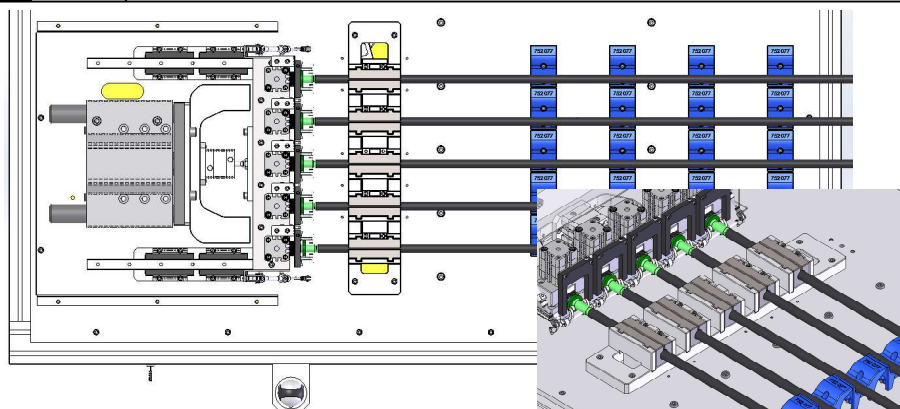
Obr. 70) Násobič tlaku a zásobník stlačeného vzduchu [8]

7.4 3D zobrazení operace lisování

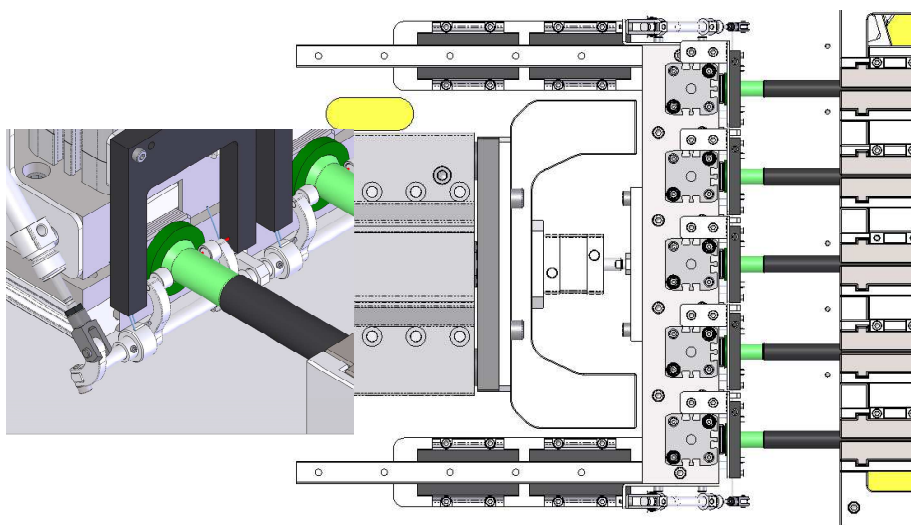
Na následujících obrázcích je představen celý cyklus stroje, jednotlivé kroky chronologicky
ctí skutečný cyklus.



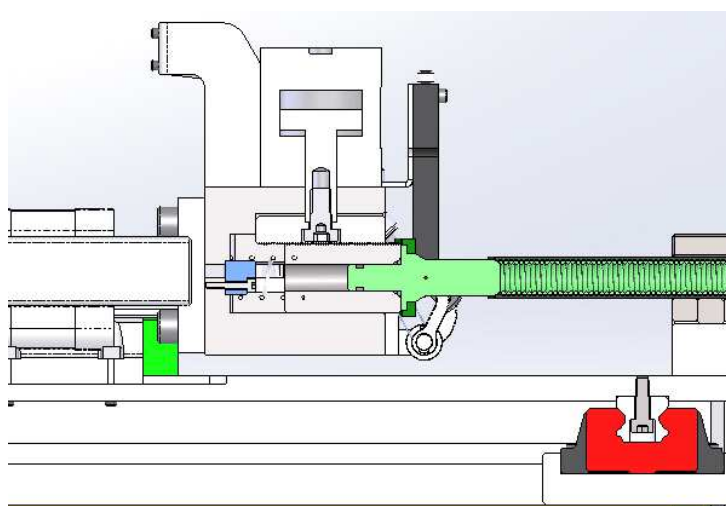
Obr. 71) 1. krok, založení trubek s trny do lisu



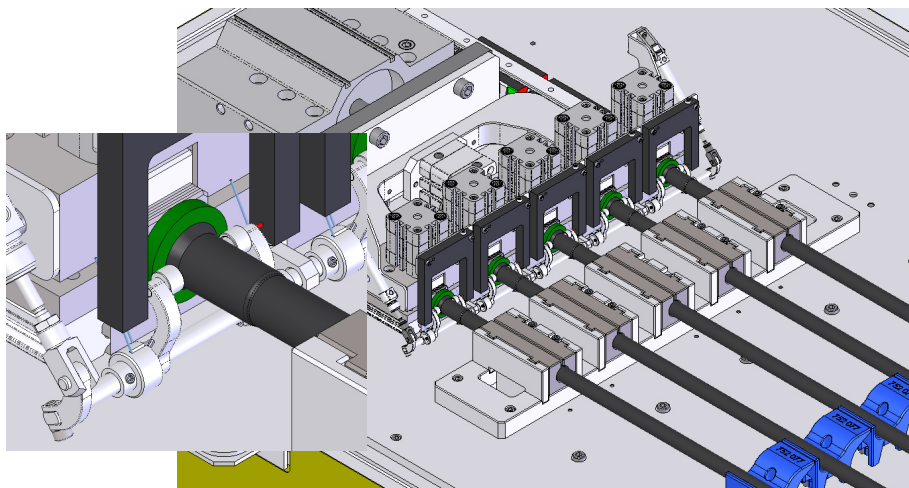
Obr. 72) 2. krok, fixace a dotlačení kroužků



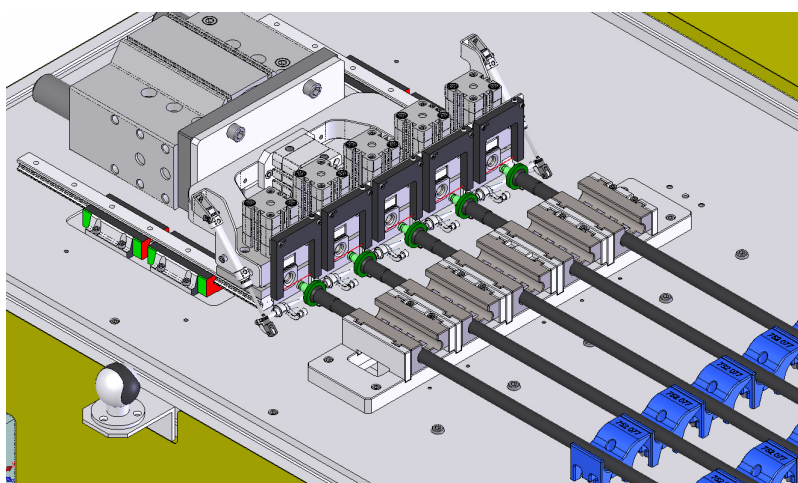
Obr. 73) 3. krok, dorovnání trnů



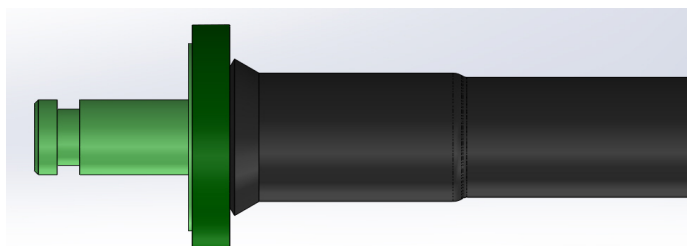
Obr. 74) 4. krok, fixace těles s trny



Obr. 75) 5. krok, lisování trnů do trubek



Obr. 76) 6. krok, uvolnění fixací a přesun všech válců do základní pozice



Obr. 77) Výsledný produkt

8 IMPLEMENTACE LISU DO ROBOTIZOVANÉ BUŇKY

Z předchozích kapitol je patrné, že se konstrukčním řešením lisu podařilo dosáhnout požadovaného taktu. Nicméně samotný stroj trpí poměrně nízkým vytížením. Odbourat tento nedostatek by měla implementace lisu do robotizované buňky, kdy z dosavadního poloautomatu se stane skutečně automatizované pracoviště, bez požadavku na konstantní přítomnost obsluhy.

V následujících podkapitolách bude proveden konstrukční návrh layoutu robotizované buňky. Tento návrh bude do jisté míry proveden formou projektu a jednotlivé uzly, především pak konstrukční výpočty, nebudou detailně řešeny.

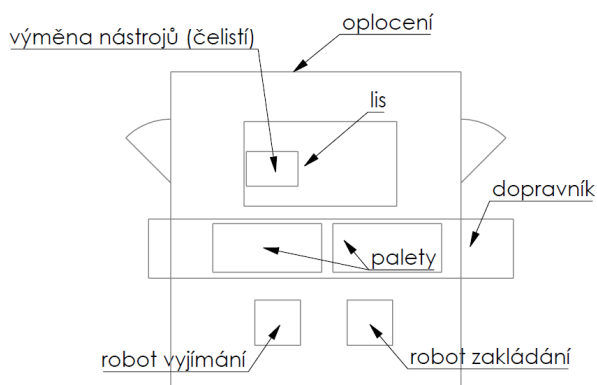
Následující podkapitoly jsou zpracovány především dle firemních požadavků na návaznost robotizované buňky a dle literatury Roboty a robotizované výrobní technologie [36].

8.1 Návrh layoutu robotizované buňky

Layout robotizované buňky bude navržen s ohledem na budoucí zakomponování do výrobního systému, tak, aby celkově co možná nejméně kladl nároky na orientaci, umístění a obsluhu.

Jako nejjednodušší zakomponování robotizované buňky se jeví konfigurace s použitím dopravníku procházející robotizovanou buňkou bez víceúrovňových vstupů/výstupů a bez složitých logistických operací v rámci buňky. Celá buňka bude zabezpečena proti vstupu do pracovních zón robotů oplocením sestaveným z hliníkových profilů a s využitím odpovídajících bezpečnostních prvků, jak elektrických, tak mechanických. V rámci buňky bude použita dvojice robotů, kdy jeden zakládá trubky s trny a druhý je vyjímá. Oba roboty budou umístěny tak, aby byla snížena manipulace se zakládávanými předměty z důvodu jejich tvarové variability délky základních trubek dle Tab. 2. V dalším návrhu budou brány v potaz nejdelší možné základní trubky.

Na následujícím obrázku je schéma návrhu rozmístění dílčích částí v rámci robotizované buňky.

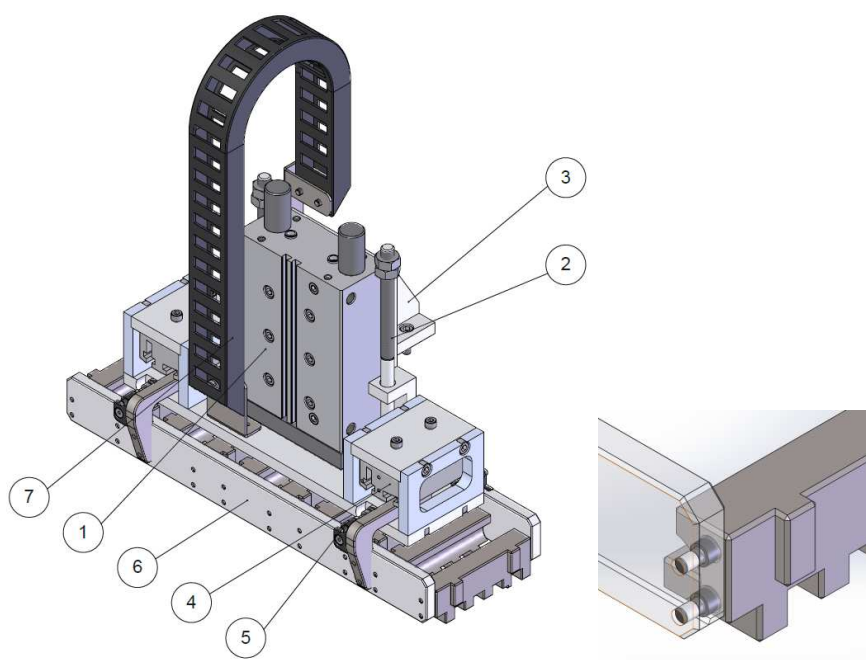


Obr. 78) Navrhovaný layout robotizovaného pracoviště

8.2 Automatická výměna nástrojů fixačního mechanismu

8.2.1 Návrh chapadla

Koncepce výměny nástrojů (čelistí) bude založen na zafixování čelistí jako celku v mechanismu fixace pomocí pneumatických chapadel Festo HGPL-14-20 [15] (4) Obr. 79 a) přes naváděcí čepy, pro které budou jednotlivé čelisti upraveny vrtáním odpovídajícího průměru. Detail upnutí čelistí chapadlem je k vidění na obrázku 79 b). Jednotlivé části pneumatických chapadel budou vymezeny dorazem (5), který zajistí nepatrnou vůli čelistí při následném založení do zásobníku čelistí. Kabeláž k čidlům a přívod stlačeného vzduchu k chapadlům budou provedeny pomocí energetického řetězu (7), který zamezí hrozícímu poškození kabeláže v průběhu přesunu do pracovní pozice válce DFM-32-100 (1). Zdvih tohoto válce (1), který je 100 mm [15] bude vymezen v pracovní pozici dvojicí stavitelných šroubů (2). Celá sestava bude připevněna k rámu manipulátoru pomocí držáku (3).



Obr. 79) a) Chapadlo – (1) Pneumatický pohon DFM-32-100, (2) Stavitelný šroub zdvihu sestavy, (3) Uchycení chapadla, (4) Pneumatický pohon HGPL-14-20, (5) Doraz fixování čelistí, (6) Deska fixace, (7) Přívod kabeláže a pneumatiky
b) Detail zafixování čelistí

8.2.2 Pneumatický pohon zdvihu čelistí

V následujícím výpočtu je provedeno ověření pneumatického válce zdvihu čelistí, jehož vstupní tlak bude redukován na 4 bary. Kontrolní výpočet je uveden pro pohyb pístu při zpětném chodu do základní pozice.

$$F_{gch} = m_{ch} \cdot g = 12,98 \cdot 9,81 = 127,3 \text{ N} \quad (75)$$

$$F_{ch} = p_{ch_4b} \cdot S_{ch} = p_{ch_4b} \cdot \frac{\pi \cdot (D_{ch}^2 - d_{ch}^2)}{4} = 400\,000 \cdot \frac{\pi \cdot (0,032^2 - 0,012^2)}{4} = 276,5 \text{ N} \quad (76)$$

$$F_{gch} < F_{ch} \rightarrow 127,3 \text{ N} < 276,5 \text{ N} \quad (77)$$

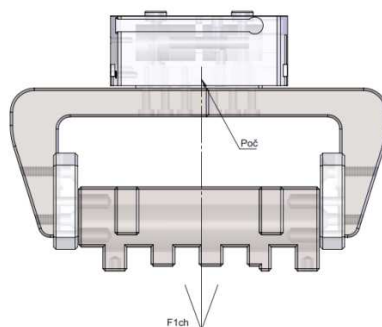
Kde:

m_{ch}	[kg]	hmotnost zvedaného břemene, $m_{ch} = 12,98$, s přídavkem 10 % pro kabeláž, pneumatiku, čidla a šroubení, dle 3D dat pro nejtěžší čelisti průměru 8 mm
p_{ch_4b}	[Pa]	vstupní tlak pístu DFM-32-100, $p_{ch_4b} = 400\,000$, zvoleno
D_{ch}	[m]	průměr pístu DFM-32-100, $D_{ch} = 0,032$ dle [15]
d_{ch}	[m]	průměr pístnice DFM-32-100, $d_{ch} = 0,012$ dle [15]
S_{ch}	[m ²]	plocha pístu DFM-32-100, zpětný chod
F_{gch}	[N]	gravitační síla od chapadla, ze vzorce (75)
F_{ch}	[N]	síla pístu DFM-32-100 při $p = 4 \text{ bar}$ a zpětném chodu, ze vzorce (76)

Zvolený pneumatický pohon zdvihu chapadla DFM-32-100 je dostatečný pro bezpečné zvednutí čelistí z mechanismu fixace při zpětném pohybu dle vzorce (77).

8.2.3 Pneumatická chapadla

Pneumatická chapadla budou zkontrolována na maximální zatížení dle katalogu Festo [37] na jednu čelist. Zatížení chapadla je uvažováno dle následujícího obrázku. Případné ohybové momenty na jednotlivých chapadlech jsou vzhledem k únosnosti chapadla zanedbány.



Obr. 80) Zatížení chapadla

$$F_{1ch} = m_{1ch} \cdot g = 1,575 \cdot 9,81 = 15,5 \text{ N} \quad (78)$$

$$F_{1ch} < F_{xch} \rightarrow 15,5 \text{ N} < 500 \text{ N} \quad (79)$$

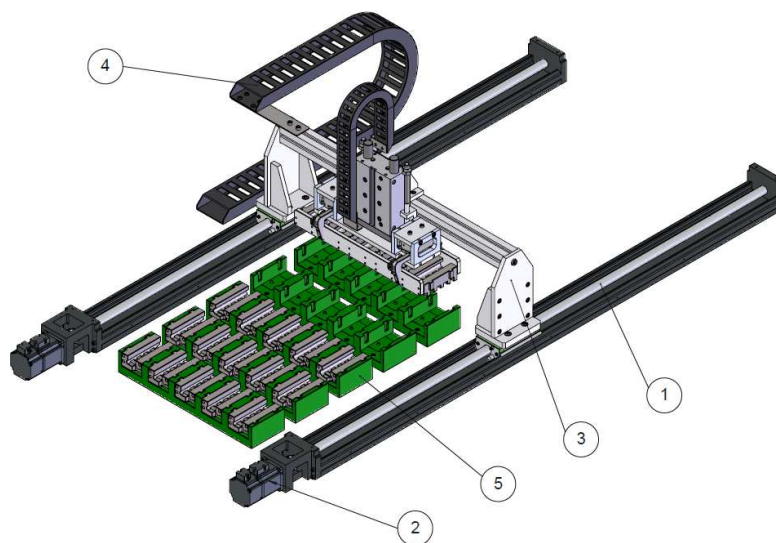
Kde:

m_{1ch}	[kg]	zatížení jednoho chapadla (z celkových 4), $m_{1ch} = 1,575$, dle 3D dat
F_{1ch}	[N]	zatížení jednoho chapadla, ze vzorce (78)
F_{xch}	[N]	maximální přípustná síla, $F_{xch} = 500 \text{ N}$, dle [37]

Zvolené chapadlo vyhovuje dané aplikaci dle vzorce (79). Toto chapadlo bylo zvoleno na základě požadovaného umístění a konstrukčního provedení. Únosnost chapadla je poměrně předimenzována, nicméně výrobce nenabízí alternativu této řady v menším provedení.

8.2.4 Návrh manipulátoru

Manipulátor bude složen ze dvou pohonů pomocí servomotorů a kuličkových šroubů. V tomto případě není možné použít jeden středový pohon s lineárním vedením po stranách, stejně, jak tomu obvykle bývá u manipulátorů z důvodu odkládání jednotlivých sad čelistí do lůžek (5) obrázek 81. Délka kuličkového šroubu (1) je zvolena na základě vzdálenosti lůžek od podsestavy fixace Obr. 36). Tomuto kuličkovému šroubu odpovídá dle katalogu HIWIN [38] servomotor s označením FRLS2020506A, který je s kuličkovým šroubem spojen pomocí pružné spojky. Propojení jednotlivých os je provedeno konzolou (3), která se skládá z hliníkového profilu 40 x 40 mm a jednotlivých dílců, které jsou vybaveny tvarovými, popř. kolíkovými spoji. Přívod kabeláže je řešen stejně jako v kapitole 8.2.1 pomocí energetického řetězu (4). Odvod kabeláže z pracovního prostoru je proveden frézovaným otvorem v desce a bude k vidění v následujících částech.



Obr. 81) Manipulátor – (1) Kuličkový šroub KK10020x-1280A1-F000, (2) Servomotor FRLS2020506A se spojkou, (3) Konzola, (4) Energetický řetěz, (5) Lůžka

8.2.5 Ověření servomotoru

K ověření zvoleného pohonu manipulátoru bude použit zjednodušený výpočet výkonu, respektive krouticího momentu, u kterého se bude jednat o rozběh se zanedbáním některých veličin. Výstupem následujícího výpočtu je požadovaný výkon **jednoho** servomotoru. Výpočet je proveden dle literatury [39] a [40].

$$F_m = m_k \cdot g \cdot f_{t1} + m_k \cdot a_m = 20,1 \cdot 9,81 \cdot 0,08 + 20,1 \cdot 10 = 216,77 \text{ N} \quad (80)$$

$$P_{sm} = \frac{F_m \cdot v_m}{2} = \frac{216,77 \cdot 1}{2} = 108,39 \text{ W} \quad (81)$$

$$P_{sm} < P_j \rightarrow 108,39 \text{ W} < 200 \text{ W} \quad (82)$$

$$M_{sm} = \frac{F_m \cdot p_{kš}}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \eta_{sm} \cdot \eta_s \cdot \eta_v} = \frac{216,77 \cdot 0,02}{4 \cdot \pi \cdot 0,9 \cdot 0,92 \cdot 0,8} = 0,52 \text{ Nm} \quad (83)$$

$$M_{sm} < M_j \rightarrow 0,52 \text{ Nm} < 0,64 \text{ Nm} \quad (84)$$

Kde:

m_k	[kg]	hmotnost posouvající se konzole, $m_k = 20,1$, s přídavkem 10 % pro kabeláž, pneumatiku, čidla a šroubení, dle 3D dat
f_{tl}	[-]	součinitel tření, kluzné vedení $f_{tl} = 0,08$, dle [39]
a_m	[m/s ²]	zrychlení posuvu za $t = 0,1$ s, $a_m = 10$
F_m	[N]	zatížení při zrychlování, ze vzorce (80)
v_m	[m/s]	rychlost posuvu, zvoleno $v_m = 1$, max. dovolená rychlost 1120 mm/s, dle [41]
P_{sm}	[W]	požadovaný výkon servomotoru při rozjezdu, ze vzorce (81)
P_j	[W]	jmenovitý výkon servomotoru, $P_j = 200$, dle [38]
$p_{kš}$	[m]	stoupání kuličkového šroubu, $p_{kš} = 0,02$, dle [41]
η_{sm}	[-]	účinnost servomotoru, $\eta_{sm} = 0,9$, dle [42]
η_s	[-]	účinnost kuličkového šroubu, $\eta_s = 0,92$, dle [39]
η_v	[-]	účinnost kluzného vedení, $\eta_v = 0,8$, dle [39]
M_{sm}	[Nm]	požadovaný moment servomotoru při rozjezdu, ze vzorce (83)
M_j	[Nm]	jmenovitý moment servomotoru, $M_j = 0,64$, dle [38]

Servomotory mají dostatečnou rezervu pro pohon manipulátoru dle vzorce (82) a (84). Výrazná rezerva je dána především požadavkem na délku vedení, které odpovídá dle katalogu firmy HIWIN právě výše zmíněný servomotor. Maximální moment motoru je trojnásobek jmenovitého využívaným právě při rozběhu, nicméně v tomto případě není třeba ani jmenovitého momentu při rozběhu. Takto nízký moment je způsoben poměrně malým zatížením od konzole a absencí sil působících proti pohybu.

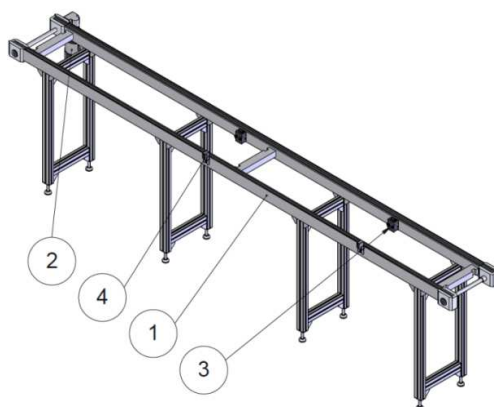
8.3 Robotizované zakládání a vyjímání trubek

V úvodu této kapitoly již bylo zmíněno, jak bude probíhat logistická operace v rámci buňky a kde budou umístěny roboty vzhledem k dopravníku. Úkolem následujících podkapitol je navrhnout konstrukčně takové řešení, které zajistí spolehlivou a přesnou zakládací/vyjímací operaci. Toto konstrukční řešení bude doplněno vhodným řízením robotů a jim odpovídajících pracovních rutin.

8.3.1 Rozvržení dopravníku

Pásový dopravník od firmy Bosch Rexroth [43] bude osazen pneumatickými zarážkami (3), které budou přesně nastaveny v rozích, na které budou naježdět roboty s koncovými efekty. Při pohledu na Obr. 82), první pozice zarážky (3) zprava znázorňuje tok materiálu, v tomto případě plata s trubkami. Na této pozici robot vyjímá trubky. Následuje přesun prázdného plata na druhou pozici (zarážka zleva), kde druhý robot vrací tvářené trubky zpět na plato. Pozice, na kterých plata zastavují, jsou vybavena RFID čtečkou (4). Pomocí této čtečky bude předána informace do řídicího PLC jaké plato se na dané pozici nachází, a tím bude následně nastaven cyklus (trasa) robotů. Výhoda těchto modulárních dopravníků firmy Bosch spočívá v jejich jednoduché propojitelnosti a skládání dopravníkových drah. Při vstupu i výstupu do robotizované buňky se pouze přistaví další dopravník požadované délky a tvaru. Provede se jeho výškové nastavení a spojení pomocí hliníkového profilu. Dopravníková trasa bude

v místě vstupu vybavena další pneumatickou zarážkou, která zajistí rozestupy jednotlivých plat, tak, aby nedocházelo k jejich hromadění v místě zakládání a vyjímání. Maximální zatížení dopravníku v jedné sekci je dle výrobce 60 kg. [43] Při této aplikaci tedy není nutné kontrolovat maximální zatížení, které od plastových trubek nebude zmíněných 60 kg.



Obr. 82) Dopravník – (1) Vodící lišty, (2) Pohon dopravníku, (3) Pneumatické zarážky, (4) RFID čtečky

8.3.2 Návrh koncových efektorů

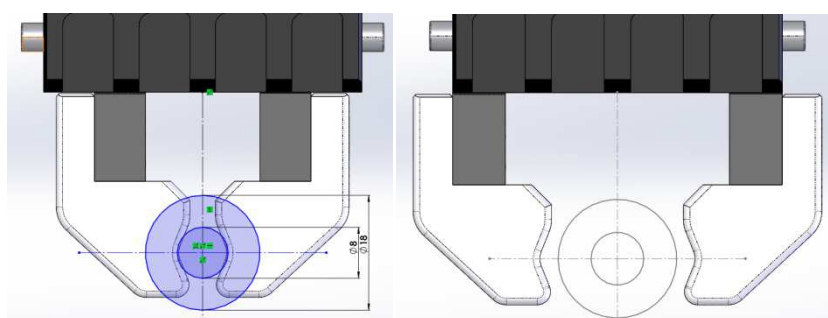
Koncové efekторы budou provedeny ve dvou variantách. První varianta bude sloužit k zakládání trubek s trny do lisu. U tohoto efektoru bude třeba zajistit, aby nedošlo k vysunutí trnů v průběhu manipulace robotem. Za tímto účelem bude zkonstruováno jednoduché zajišťovací zařízení s pneumatickým pohonem, které zamezí případnému vysunutí trnů.

Druhý koncový efektor bude kopírovat první, ale již nebude vybaven zajištěním trnů. Trny budou při této operaci zalisovány do trubek a jejich vysunutí tudíž nehrozí.

Návrh efektoru zakládání

Za účelem zajištění dostatečné fixace trubek bude efektor pro každou pozici osazen dvojicí dvoučelistových paralelních chapadel SCHUNK, které budou rozmístěny tak, aby nemohlo dojít ke kolizi s čelistmi fixace ani lůžky na lisu. Zároveň rozteč jednotlivých chapadel bude zvolena s ohledem na minimální délku trubek, která je dle zadání Tab. 2, 570 mm. Dvojice chapadel je zvolena především z důvodu, aby nemohlo dojít ke zlomení trubky v průběhu manipulace způsobené vlastní hmotností trubky.

Na následujícím obrázku je k vidění chapadlo vybavené čelistí. Zdvih chapadla je dimenzován na základě požadavku uchopení trubek průměrů od 8 do 18 mm, Tab. 2. Tyto průměry představují dvojice kružnic.



Obr. 83) a) Sevřené chapadlo

b) Otevřené chapadlo

Zvolené chapadlo SCHUNK s typovým označením MPG-plus 50 odpovídá požadovanému zdvihu na čelist 8 mm. Mezi podstatné parametry se řadí hmotnost chapadla 0,31 kg a doporučená hmotnost uchopovaného objektu 1,05 kg [45]. Další parametry chapadla jsou uvedeny v příloze P6.

$$m_{tr} < 2 \cdot m_{dcha} \rightarrow 0,38 \text{ g} < 2,1 \text{ kg} \quad (85)$$

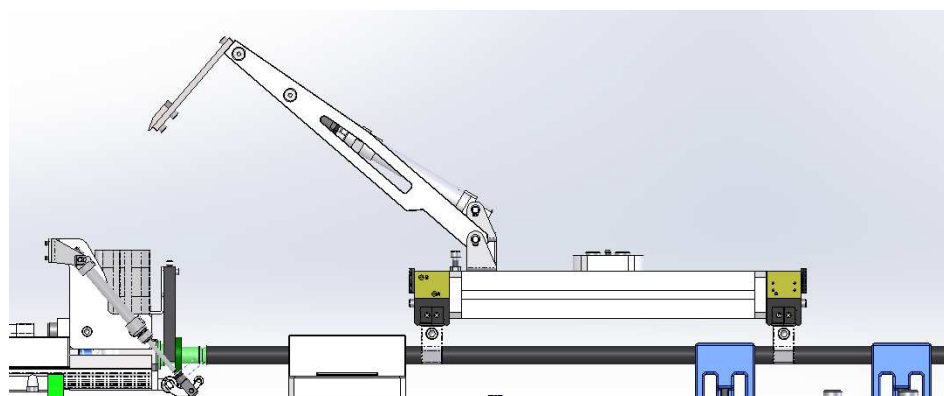
Kde:

m_{tr} [kg] hmotnost nejdelší trubky s trnem a pružinou, $m_{tr} = 0,38$, dle 3D dat
 m_{dcha} [kg] maximální doporučené zatížení chapadla (2 chapadla na jedné trubce),
 $m_{dcha} = 1,05$, dle [45]

Dvojice chapadel bezpečně snese zatížení od uchopovaného předmětu. Dle vzorce (85).

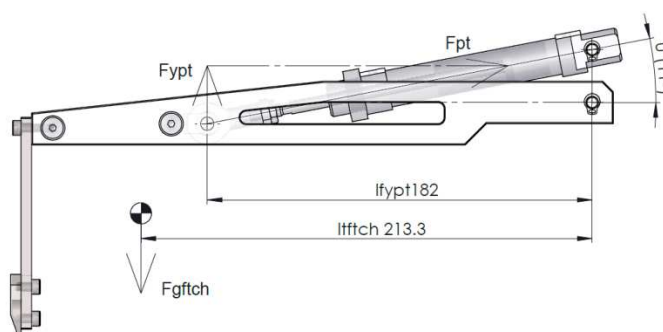
Zajištění trnů proti vypadnutí

Zajištění trnů bude provedeno pomocí fixace, která bude poháněna pneumatickým pístem. Lineární pohyb tohoto pístu bude transformován na rotační pomocí kinematického uspořádání. Toto řešení je zvoleno z důvodu otevření fixace trnů před finálním zasunutím do těles na trny viz Obr. 38). Zdvih navržené fixace musí být dostatečný, aby nedošlo ke kolizi mezi touto fixací a čidly u jednotlivých pozic podsestavy lisování Obr. 84).



Obr. 84) Zamezení kolize efektoru a podsestavy lisování

V následujícím výpočtu bude provedena kontrola pneumatického pohonu zvedání fixace trnů. Výpočet je vztažen k těžišti této části a vychází z momentové rovnováhy k rotační vazbě ramene fixace.



Obr. 85) Momentová rovnováha zdvihu fixace trnů

$$F_{gftch} = m_{ftch} \cdot g = 3,3 \cdot 9,81 = 32,4 \text{ N} \quad (86)$$

$$F_{pt} = p_{pt_5b} \cdot S_{pt} = p_{pt_5b} \cdot \frac{\pi \cdot (D_{pt}^2 - d_{pt}^2)}{4} = 500\,000 \cdot \frac{\pi \cdot (0,016^2 - 0,006^2)}{4} = 86,4 \text{ N} \quad (87)$$

$$F_{ypt} = F_{pt} \cdot \sin u = 86,4 \cdot \sin 11 = 16,5 \text{ N} \quad (88)$$

$$M_{ypt} = F_{ypt} \cdot l_{fypt} = 16,5 \cdot 0,182 = 3,003 \text{ Nm} \quad (89)$$

$$M_{gftch} = F_{gftch} \cdot l_{ftch} = 32,4 \cdot 0,2133 = 6,91 \text{ Nm} \quad (90)$$

$$M_{gftch} < M_{ypt} \rightarrow 6,91 \text{ Nm} < 3,003 \text{ Nm} \quad (91)$$

Kde:

m_{ftch}	[kg]	hmotnost zvedané fixace trnů, $m_{ftch} = 3,3$, dle 3D dat
p_{pt_5b}	[Pa]	vstupní tlak pístu DSNU-16-50, $p_{pt_5b} = 500\,000$, zvoleno
D_{pt}	[m]	průměr pístu DSNU-16-50, $d_{pt} = 0,016$, dle [15]
d_{pt}	[m]	průměr pístnice DSNU-16-50, $d_{pt} = 0,006$ dle [15]
S_{pt}	[m ²]	plocha pístu DSNU-16-50, zpětný chod
F_{pt}	[N]	síla pístu DSNU-16-50 při $p = 5 \text{ bar}$ a zpětném chodu, ze vzorce (87)
u	[°]	úhel mezi pístem a horizontální osou, z obrázku 85
F_{ypt}	[N]	síla pístu DSNU-16-50 ve vertikálním směru, ze vzorce (88)
l_{fypt}	[m]	vzdálenost působení síly pístu DSNU-16-50 od rot. vazby, z obrázku 85
F_{gftch}	[N]	gravitační síla od fixace trnů, ze vzorce (86)
l_{ftch}	[m]	vzdálenost těžiště sestavy od rotační vazby, z obrázku 85
M_{gftch}	[Nm]	moment od sestavy vztažený k rotační vazbě, ze vzorce (90)
M_{ypt}	[Nm]	moment působící píst k rotační vazbě, ze vzorce (89)

Z předchozího výpočtu vyplývá, že **píst nemá dostatečnou sílu na zvednutí fixace trnů**. Bude proto použit píst většího průměru, konkrétně 25 mm. Síla pístu ve vertikálním směru je přepočítána na $F_{yptu} = 39,3 \text{ N}$.

$$M_{yptu} = F_{yptu} \cdot l_{fypt} = 39,3 \cdot 0,182 = 7,16 \text{ Nm} \quad (92)$$

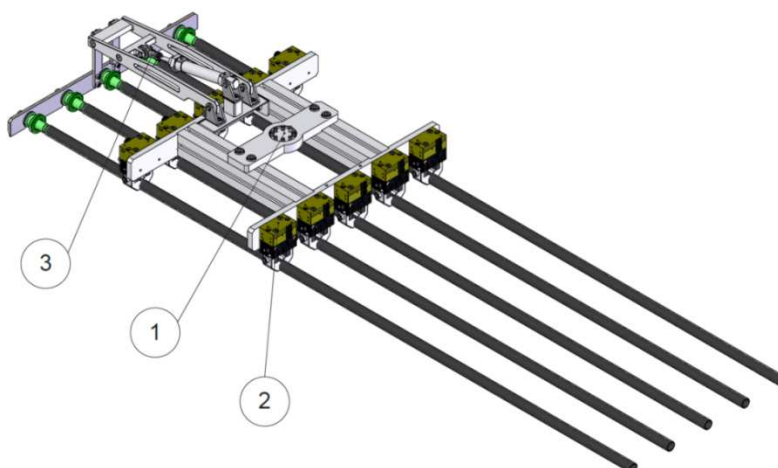
$$M_{gftch} < M_{yptu} \rightarrow 6,91 \text{ Nm} < 7,16 \text{ Nm} \quad (93)$$

Kde:

F_{yptu}	[N]	upravená síla pístu DSNU-25-50 ve vertikálním směru
M_{yptu}	[Nm]	moment působící upravený píst k rotační vazbě, ze vzorce (92)

Upravený píst průměru 25 mm je dostatečně dimenzován ke zvednutí sestavy fixace trnů dle vzorce (93).

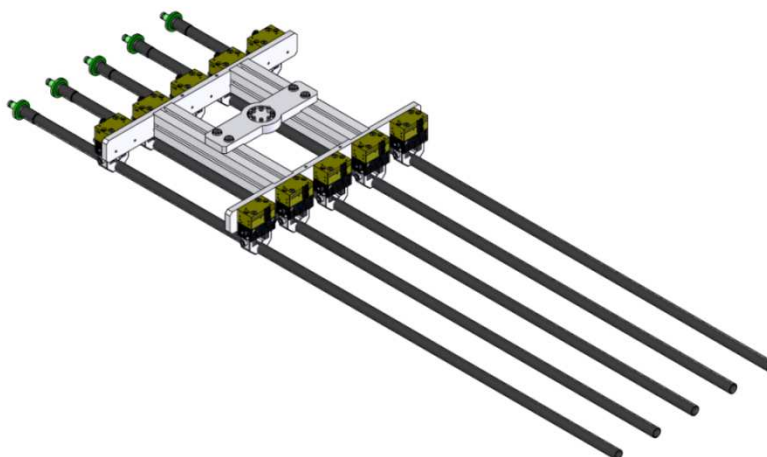
Na následujícím obrázku je k vidění koncový efektor náležíci robotu zakládání.



Obr. 86) Koncový efektor zakládání – (1) Příruba k robotu, (2) Chapadla SCHUNK, (3) Fixace trnů

Návrh efektoru vyjímání

Efektor náležíci robotu vyjímání bude pouze úpravou předchozího efektoru, který již nebude obsahovat sestavu zajišťující trny v trubkách Obr. 87).

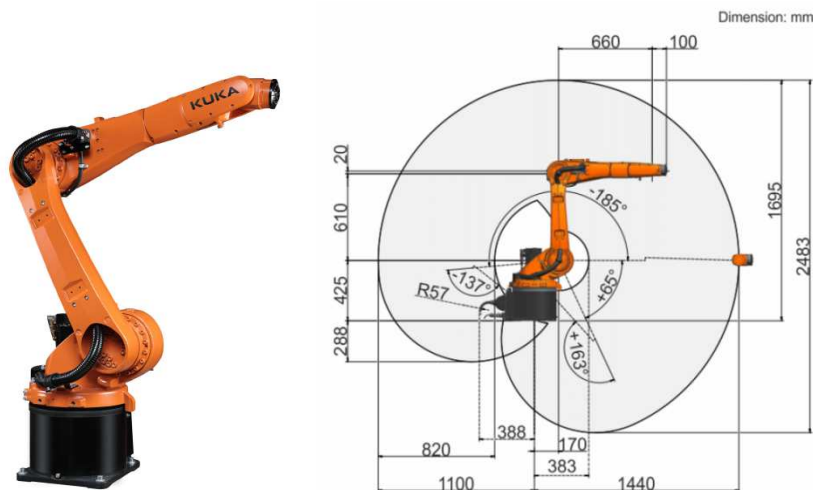


Obr. 87) Koncový efektor vyjímání

8.3.3 Výběr robotů

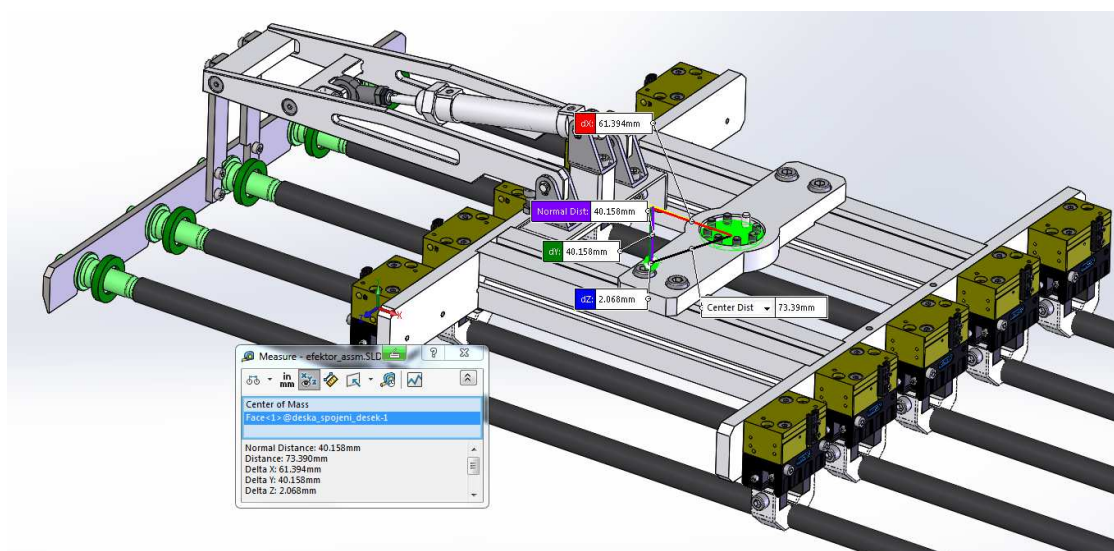
Na zakládání a vyjímání bude předběžně vybrána varianta šestiosého robotu od firmy KUKA s označením KR_10_R1440-2. Každý z robotů bude umístěn na svařovaném podstavci spojeném kotveným spojem s podlahou výrobní haly. Robot je předběžně vybrán na základě požadovaného dosahu a nosnosti. Dosah koncové příruby pro tento robot, jak samotné označení napovídá, je 1440 mm. Maximální zatížení koncové příruby robotu dle katalogu (viz příloha P7) klesá od 14,3 kg k 6 kg v závislosti na těžišti koncového efektoru [44].

Robot je ovládaný řídicím systémem KUK KR C5 s ovládacím panelem KUKA smartPAD. Na následujícím obrázku je zobrazen zvolený robot a jeho pracovní prostor.



Obr. 88) Robot KUKA KR_10_R1440-2 [44]

Na následujícím obrázku je změřena poloha těžiště sestavy koncového efektoru pro zakládání od počátku příruby spojené s přírubou robotu. Dle zátěžového diagramu robotu KR_10_R1440-2, příloha P7, se těžiště koncového efektoru nachází v prostoru omezeném vzdáleností těžiště koncového efektoru od příruby robotu ve směru Lz 100 mm a Lxy 100 mm. Posunutím těžiště v jednotlivých osách odpovídá pro Lz 40,2 mm a pro Lxy 61,4 mm. Robot tedy může bezpečně manipulovat se zatížením 10 kg. [44] Hmotnost koncového efektoru byla změřena v 3D programu s přídavkem 10 % pro přívod kabeláže, pneumatiky, čidel, šroubení a spojovacího materiálu na 7,9 kg. **Navržený manipulátor tedy může být použit pro zvolený typ robotu.** Stejný závěr platí pro robot vyjímání. U něj bude hmotnost koncového efektoru ponížena o odebranou sestavu fixování trnů.

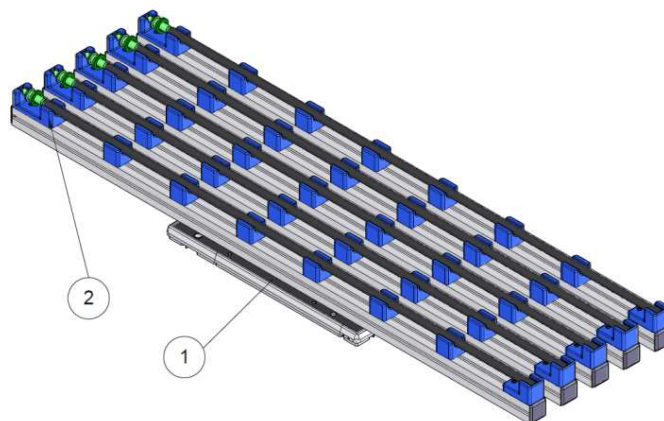


Obr. 89) Těžiště koncového efektoru

8.4 Modelace zásobníků trubek

Poslední nezbytnou součástí robotizované buňky je návrh plat, která budou zajišťovat tok materiálu robotizovanou buňkou. Jako základní část bude použito plato odpovídající pásovému dopravníku s označením WT-2 [43]. Toto pracovní plato bude následně upraveno,

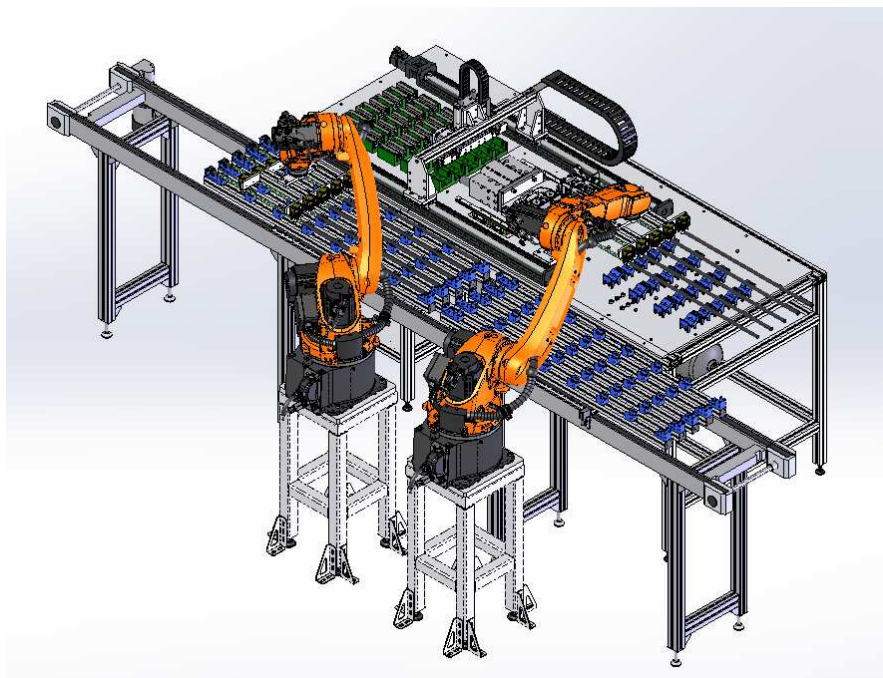
budou přidány hliníkové profily požadovaných délek dle zpracovávaných trubek v rozteči odpovídající rozteči koncových efektorů, resp. automatickému lisu. Lůžka plat budou vyrobena z 3D tištěných bloků, které zajistí správnou pozici a orientaci trubek s trny na platě. Pro každou ze zpracovávaných variant základních trubek bude vyrobeno odpovídající plato, jehož krajní bloky zabezpečí, že kroužek na trnu nesklouzne Obr. 90).



Obr. 90) Plato na trubky – (1) Plato WT-2, (2) Formy (bloky) z 3D tisku

8.5 Vizualizace robotizovaného pracoviště

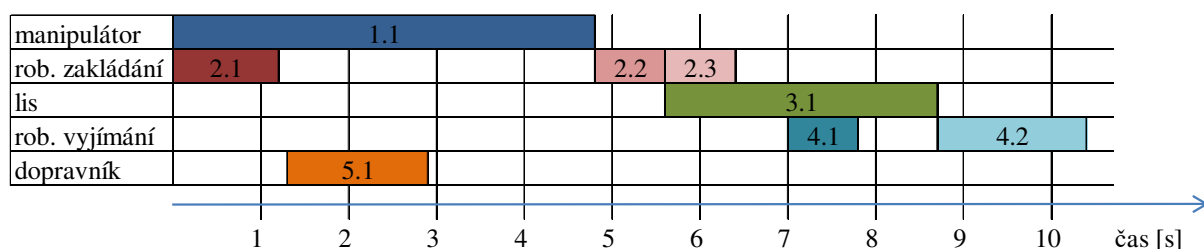
Implementaci lisu do robotizovaného pracoviště, včetně všech výše navržených komponentů, dokresluje následující obrázek. K robotizovanému pracovišti budou v další kapitole navrženy bezpečnostní prvky a bude také vyhodnoceno riziko poranění.



Obr. 91) Robotizované pracoviště

8.6 Předpokládaný takt výroby robotizovaného pracoviště

V poslední části této kapitoly bude provedeno určení předběžného taktu robotizované buňky. Jednotlivé časy pneumatických pohonů budou určeny se stejným předpokladem škrčení a redukce pohybu do pracovní, resp. základní, pozice obdobně jako v kapitole 7.2. Stejně jako ve zmíněné kapitole nejsou vzaty v potaz oblasti zrychlování a brzdění pohonů. V následujícím výpočtu jsou určeny dvě varianty cyklů. První varianta t_{rob_1c} je pro cyklus, kdy jsou měněny čelisti. Druhá varianta t_{rob_2c} je pro cyklus, kdy jsou lisovány trubky stejného průměru jako v cyklu předchozím, čímž odpadá čas, kdy jsou měněny čelisti. Na následujícím obrázku je vidět časová osa jednotlivých úkonů částí robotizovaného pracoviště. Jedná se zde o nadřazené sestavy, jednotlivé kroky v rámci daných sestav nejsou z důvodu velkého množství úkonů rozepsány. Časová osa je uvedena pro variantu s výměnou čelistí. V případě taktu bez výměny čelistí plynule navazují kroky 2.1 a 2.2 bez prodlevy na dokončení výměny.



Obr. 92) Časová osa cyklu s výměnou čelistí

1.1 výměna čelistí dle požadovaného průměru

2.1 vyjmutí trubek z palety a přesun nad prostor zakládání do lisu

2.2 založení trubek do lisu

2.2 odjezd robota zakládání nad prostor palety, kde čeká na příjezd další palety

3.1 průběh operace lisování trnů

4.1 příjezd robota vyjímání nad prostor zakládání do lisu, čekání na dokončení operace

4.2 vyjmutí zpracovaných trubek a přesun na pozici palety

5.1 přejezd palety mezi pozicí zakládání a vyjímání, čekání na založení zpracovaných trubek

$$t_{rob_1c} = t_{vc} + t_{rz} + t_s + t_{rv} = 4,8 + 0,8 + 3,06 + 1,7 = 10,36 \text{ s} \quad (94)$$

$$t_{rob_2c} = t_{rzc} + t_s + t_{rv} = 1,96 + 3,06 + 1,7 = 6,72 \text{ s} \quad (95)$$

Kde:

t_{vc}	[s]	čas výměny čelistí, dopočteno z rychlosti pojezdu servomotorů na základě kap. 8.2.5 a výsunu pneumatických válců kap. 7.2
t_{rz}	[s]	čas založení trubek, pro případ, kdy robot čeká na dokončení výměny čelistí a je v pozici nad čelistmi
t_s	[s]	strojový čas cyklu, $t_s = 3,06 \text{ s}$, ze vzorce (70)
t_{rv}	[s]	čas vyjmutí trubek z lisu a vrácení na paletu, určeno dle katalogového listu, příloha P7

t_{rzc} [s] čas založení trubek, pro případ, kdy je robot přenáší z palety, určeno dle katalogového listu, příloha P7

Předpokládaný čas jednoho cyklu pro robotizované pracoviště je dle předchozích výpočtů 10,36, resp. 6,72 sec v závislosti na po sobě jdoucích průměrech trubek.

U první varianty výpočtu t_{rob_1c} je uvažován případ, při kterém se mění čelisti a tyto čelisti jsou uloženy na nejvzdálenějších pozicích v zásobníku. Předpokládá se také kontinuální příjezd palet s díly.

V reálném případě bude hned po vyjmutí trubek v pohybu výměna čelistí. Stroj tedy nebude čekat na potvrzení vrácení dílů na paletu.

Výše provedené výpočty stále splňují podmínku kritického času dobíjení zásobníku stlačeného vzduchu ze vzorce (63) $T_p = 2,32s$.

Určit přesnou výkonnost pracoviště a porovnat ji se zadaným počtem nalisovaných trnů dle zadání je velice komplikované a případný odhad počtu nalisovaných trnů by neměl dostatečnou vypovídající hodnotu, dle následujících předpokladů.

- V každém cyklu nemusí být plně obsazeny pozice.
- Může být větší množství palet za sebou se stejnými trubkami.
- Někdy se budou čelisti měnit každý cyklus.
- Může nastat případ, kdy bude pracoviště čekat na příjezd palety.

Úvaha – takt robotizovaného pracoviště:

Za předpokladu využití průměrného času operace z předchozích výpočtů můžeme odvodit teoretickou efektivitu robotizovaného pracoviště vůči obsluhovanému lisu. Tato efektivita vychází **vyšší téměř o 220 %**. V porovnání se současným stavem se jedná o několikanásobné zvýšení produktivity linky. Je tedy patrné, že se robotizace z pohledu efektivy pracoviště jednoznačně vyplatí.

9 BEZPEČNOSTNÍ PRVKY A ANALÝZA RIZIK

Navrženou robotizovanou buňku je nutné v posledním kroku posoudit z hlediska bezpečnosti v souladu s normami danými požadavky a požadavky zadavatele (firmy). Dále navrhnout bezpečnostní prvky, které zamezí případnému poranění obsluhy, ať už se jedná o samostatný lis, který je již v této fázi plně nasazen v nepřetržitém provozu, nebo robotizované pracoviště, které je ve fázi vývoje. Součástí této kapitoly je také zajištění dostatečné ergonomie, která přispívá k bezpečnému pracovišti.

Bezpečnostní prvky budou popsány zvlášť pro lis a zvlášť pro robotizovanou buňku, a to z důvodu postupného vývoje. Tento lis, jak již bylo několikrát zmíněno, byl podroben všem náležitostem potřebným k provozu, jako samostatné výrobní zařízení, a proto také bylo dbáno na zakomponování bezpečnostních prvků již ve fázi návrhu.

9.1 Bezpečnostní prvky lisu

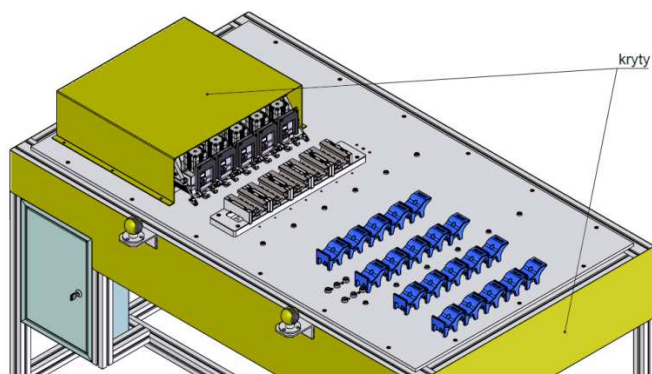
Z globálního pohledu je na umístění lisu pohlíženo jako na samostatný výrobní stroj, který má přesně definované místo. Toto místo, nebo přesněji vymezený prostor, je určeno v souladu s bezpečnostními prvky firmy a logistickým tokem zpracovávaného materiálu na úseku termo-tvarování. Prostor lisu, jakož i ostatních pracovních stanic, je barevně vymezen výstražnou páskou lepenou na podlahu výrobní haly.

Dle firemního předpisu je při práci na lisu zakázána konzumace nápojů a jídla. Zakázány jsou také prvky, které odvádějí obsluhu stroje od pozornosti, jako například mobilní telefony, tablety, sluchátka. Pracoviště je navrženo pro obsluhu jedním pracovníkem a tato skutečnost je také reflektována v návodu k obsluze. Přítomnost dalších pracovníků na tomto pracovišti je výslovně zakázána. A to z důvodu jak odvádění pozornosti obsluhy, tak možného nebezpečí poranění od pohyblivých částí, především čelistí.

9.1.1 Krytování

Pohyblivé části stroje, u kterých je to možné, jsou zakryty děrovaným plechovým krytem. Jedná se o krytování klikového mechanismu fixace a pohonu lisování. Jednotlivé kryty jsou s rámem a pracovní deskou pevně spojeny šroubovými spoji, k jejichž rozebrání je zapotřebí nástrojů k tomu určených. Jednoduše rozebíratelné spoje, např. v podobě upínek, excetrnů, různých klipů, nejsou na žádné části použity. Obsluha je také proškolená na obsluhu zařízení a v jejím popisu práce je zakázáno jakkoliv manipulovat s veškerými spojovanými částmi stroje. Taktéž je pro obsluhu zakázáno přenastavovat stroj, měnit zásadně jeho nastavení (např. zvýšením nebo snížením vstupního tlaku stlačeného vzduchu do stroje).

Pohon dotlačení kroužků není nijak zabezpečen, jedná se o válec malého průměru, který při svém pohybu není nebezpečný. Prostor mezi tělesy na trny a fixací trnů také není zabezpečen z důvodu velmi nízkého zdvihu této fixace, který je pouhých 0,6 mm. Poranění zmáčknutím je zde vyloučené. Největší riziko, které nelze odstranit mechanickým krytovaním, se nachází v místě fixace trubek, kde je prostor dostatečně velký pro zmáčknutí prstů. V tomto prostoru je stroj označen výstražnými popisky, které upozorňují na nebezpečí zmáčknutí. Na tuto část přímo navazuje následující podkapitola spouštění výrobního cyklu.



Obr. 93) Bezpečnostní prvky - kryty

9.1.2 Spínání výrobního cyklu

Spínání výrobního cyklu navazuje na předchozí kapitulu a slouží také jako bezpečnostní prvek zabráňující kontaktu končetiny obsluhy s fixačním mechanismem – čelistmi. Spouštění výrobního cyklu je zabezpečeno zásadně dvoutlačítkovým spínáním, které je v dostatečné vzdálenosti od sebe za účelem ergonomického rozložení, a také nemožnosti zmáčkнуть obě tlačítka jednou rukou. Tato tlačítka jsou navíc vybavena spínači ze dvou stran, je tedy nutné zmáčknutí podobně jako u míčku (palec a další prsty).

Řízení spouštěcího cyklu je zabezpečeno časovou prodlevou (0,5 sec) a druhé tlačítko musí být stisknuto v této definované prodlevě, jinak nedojde k inicializaci procesu.

9.2 Bezpečnostní prvky navrhované robotizované buňky

Na bezpečnostní prvky robotizovaných pracovišť je kladen velký důraz. Součástí výrobního procesu jsou stále pracovníci a v případě probíhajícího automatického cyklu výroby nesmí nastat případ, kdyby se člověk dostal do pracovní zóny robotu. Za tímto účelem bude navrženo bezpečnostní oplocení, které zamezí přístupu pracovníků, ať už náhodným nebo cíleným. Součástí oplocení budou také elektronické zabezpečovací prvky.

9.2.1 Oddělení výrobního prostoru od obsluhy

Jak již bylo zmíněno, oddělení robotizovaného pracoviště a jeho okolí bude řešeno pomocí oplocení, které bude sestaveno z hliníkových profilů a bude vyplněno pletivem. Celý systém oplocení bude pevně zakotven v podlaze, tak, aby nedošlo k jeho případnému posunutí. Výška oplocení je 2000 mm, tato výška se může nepatrně měnit pomocí stavitelných noh jednotlivých stojek. Rohové profily budou označeny žlutou výstražnou barvou.

Bývá obvyklé zabezpečit prostor nad dopravníkem optickou závorou. Toto řešení ovšem použito nebude z důvodu nízké světlé výšky mezi dopravníkem a oplocením, která je přibližně 19 cm. Do tohoto prostoru je sice možné vstříci ruku, nicméně robot se pohybuje v dostatečné vzdálenosti od oplocení.

9.2.2 Elektrické bezpečnostní prvky

Vstup do vnitřního prostoru robotizované buňky bude možný pouze dvojicí vstupních dveří, které budou vybaveny bezpečnostním zámek firmy Euchner s označením MGB-L1H-APA-L-115672 [46]. Tento uzamykač je mimo jiné vybaven bezpečnostním tlačítkem central stop. Možnost odemčení dveří je zpřístupněna pouze v případě, kdy bude buňka přepnuta do ručního řízení, ve kterém není možné spustit automatický režim. K tomuto uvolnění do ručního režimu je uzpůsoben kontrolní panel umístěný u vstupních dveří, který je z pohledu

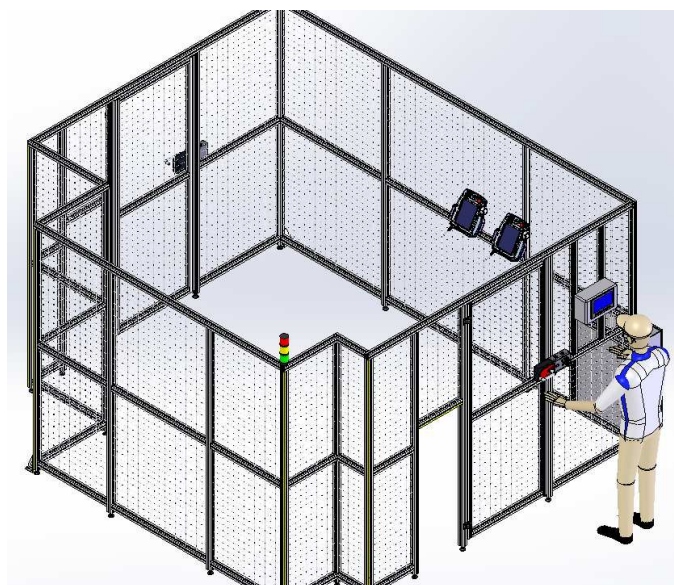
ergonomie pracoviště umístěn v ideální obslužné zóně. Toto uvolnění může být realizováno buď klíčem, nebo heslem. K přístupu do robotizovaného prostoru má opět přístup pouze údržba/servis. Přístup do buňky je samozřejmě možný i bez přepnutí do ručního režimu, musí být ale zastaven automatický výrobní cyklus.

Všechny výše popsané prvky jsou aplikované za účelem zamezení sepnutí automatického cyklu v případě, že se ve vymezeném prostoru nachází pracovníci. Pro zvýšení bezpečnosti, respektive informovanosti, se ještě například na vstupní dveře, rozvaděče apod. umísťují výstražné cedule, které informují o prováděné práci/servisu na zařízení.

V případě přepnutí do ručního režimu je možné ovládat prostřednictvím dotykové obrazovky pohyby jednotlivých pohonů, fixací atd. Je také možné vstupovat do prostoru buňky a ručně ovládat jednotlivé roboty pomocí smartPAD. V ručním režimu jsou ovšem omezeny rychlosti pohybu jednotlivých kloubů robotu.

Robotizované pracoviště je dále vybaveno tzv. majákem, který signalizuje stavy, ve kterých se buňka nachází, může to být spuštěný automatický výrobní cyklus, porucha na zařízení, prováděná údržba.

Veškeré výše popsané bezpečnostní prvky oplocení z kapitoly 9.2.1 a 9.2.2 jsou k vidění na následujícím obrázku.



Obr. 94) Bezpečnostní oplocení robotizovaného pracoviště

9.3 Analýza rizik

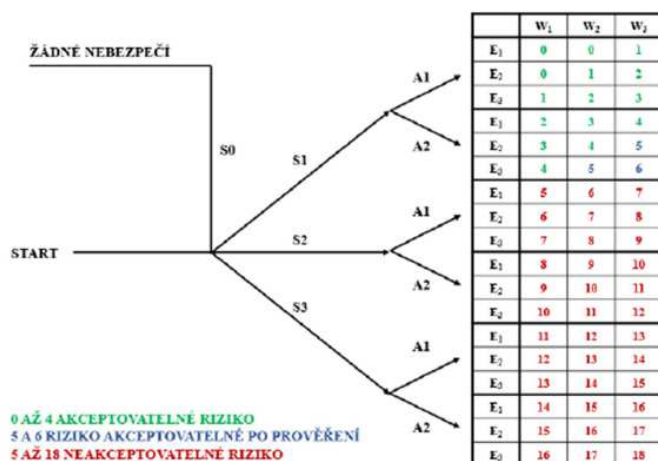
Analýza rizik navrženého pracoviště bude provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 12100 Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika. [47] Proces analýzy, popsaný v normě, bere v potaz veškeré etapy životního cyklu daného pracoviště. Mezi etapy patří: výroba, přeprava, montáž a instalace, uvedení do provozu, používání (provoz, údržba), vyrazení z provozu demontáž a likvidace.

Dle zmíněné bezpečnostní normy lze rozdělit rizika do následujících oblastí:

- mechanické nebezpečí;
- elektrické nebezpečí;
- tepelné nebezpečí;

- nebezpečí vytvářená hlukem;
- nebezpečí vytvářená vibracemi;
- nebezpečí vytvářená zářením;
- nebezpečí vytvářená minerály a látkami;
- nebezpečí vytvářená zanedbáním ergonomických zásad při konstrukci stroje;
- nebezpečí uklouznutí, zakopnutí, pádu;
- kombinace nebezpečí;
- nebezpečí spojená s prostředím, ve kterém je stroj používán.

Odhad rizik je proveden dle struktury následujícího diagramu.



Obr. 95) Diagram pro odhad rizika [36][47][48]

Při procesu hodnocení rizika se využívají následující stupnice kritérií [47].

Míra poškození (S)

S0 – nehrozí zranění

S1 – lehké zranění

S2 – těžké zranění

S3 – smrt

Četnost a doba ohrožení (A)

A1 – zřídka až častěji

A2 – často až trvale

Možnost vyvarování se nebezpečí (E)

E1 – možné

E2 – zřídka možné

E3 – sotva možné

Pravděpodobnost vzniku nebezpečné události (W)

W1 – malá

W2 – střední

W3 – velká

Vzhledem k rozsahu a komplexnosti práce bude analýza rizik provedena dle následujících předpokladů.

- Definována budou pouze nejvýznamnější rizika.
- Budou vyhodnocena pouze rizika spojená s provozem a servisem pracoviště. Přeprava, montáž pracoviště, resp. demontáž, po vyřazení stanice nebude zohledněna.
- Oblasti rizik jsou uvažovány výhradně pro mechanické nebezpečí, elektrické nebezpečí a tepelné nebezpečí.

Na základě výše zmíněných předpokladů jsou v následující tabulce vypsána nebezpečí včetně jejich závažnosti, kterou reprezentuje součet v předposledním sloupci tabulky určený dle diagramu pro odhad rizika.

Jednotlivá nebezpečí budou posouzena pomocí formuláře pro odhad rizika. Cílem tohoto formuláře je snížit riziko na akceptovatelnou hodnotu. V posledním sloupci tabulky jsou uvedena zbytková rizika.

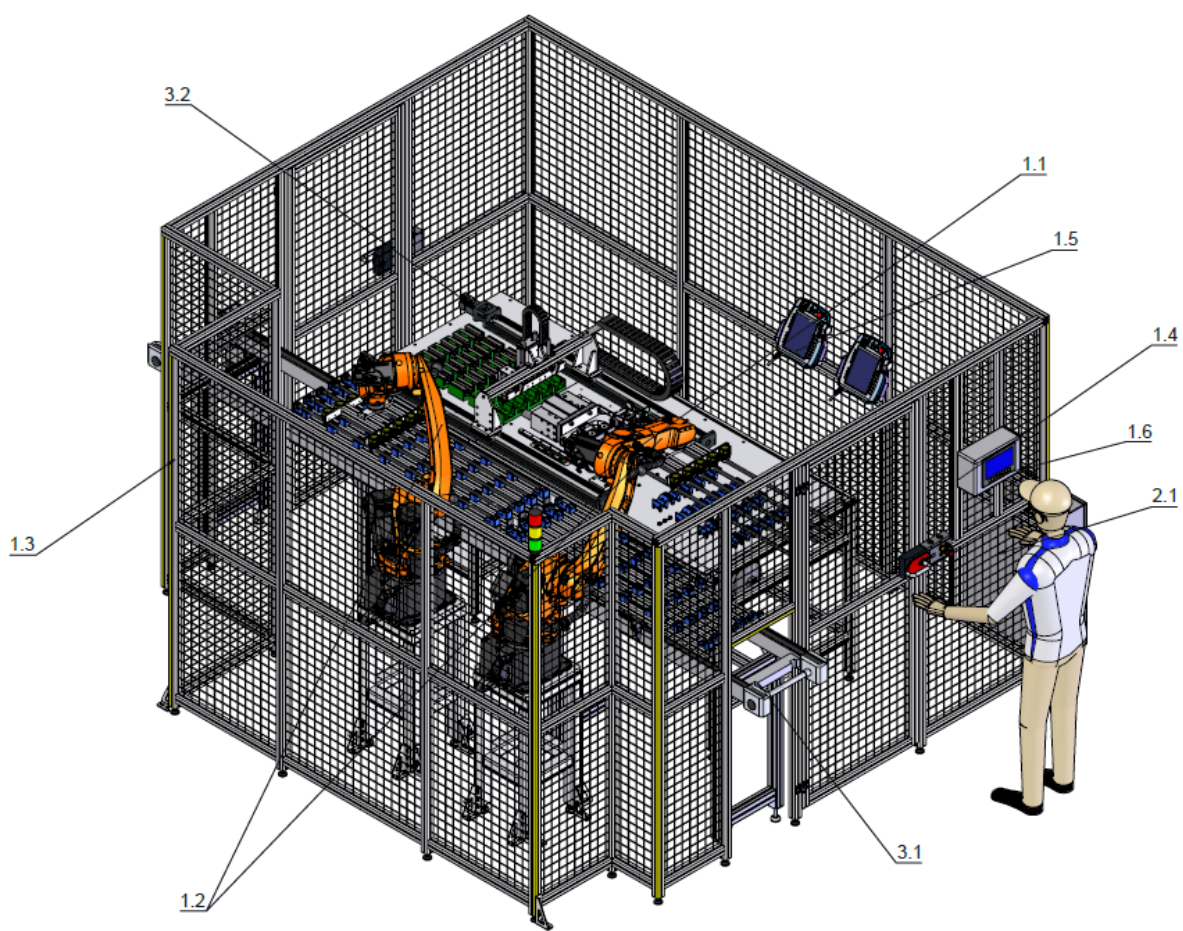
Tab 9) Vybraná významná nebezpečí

Označení	Mechanická nebezpečí	S	A	E	W	Σ	Σ _{zbyt}
1.1	Nebezpečí zmáčknutí při fixaci dílů	2	2	2	3	11	0
1.2	Nebezpečí kontaktu s pohybujícím se robotem	3	2	3	3	18	0
1.3	Nebezpečí naražení o oplocení	1	2	3	2	5	3
1.4	Nebezpečí při automatickém cyklu	3	2	3	2	17	3
1.5	Nebezpečí při nastavování robotu	2	2	2	3	11	3
1.6	Nebezpečí při ručním řízení stanice	2	2	2	2	10	2
	Elektrická nebezpečí						
2.1	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem	3	2	3	3	18	1
	Tepelná nebezpečí						
3.1	Nebezpečí popálení od pásu dopravníku	1	2	3	2	5	2
3.2	Nebezpečí popálení od motorů	2	2	2	2	10	0

Analýza zahrnuje implementaci lisu do robotizované buňky. Analýza také reflektuje jednotlivě provedené konstrukční kroky, které jsou řešeny obvykle souběžně s etapou konstruování a jednotlivá řešení reflektují požadavky na snižování rizik.

V prvním bodě, který je převážné formálního hlediska, je reprezentována jedna z hlavních výhod robotizovaných pracovišť, a to možnost zamezit kontaktu pracovníka s potenciálně nebezpečným zařízením. Mimo danou aplikaci se může jednat např. o různé točivé stroje, silové operace, kontaminovaná prostředí, prostředí s nebezpečím výbuchu atd. Pro sestavu fixace je tedy možné riziko téměř eliminovat konstrukčním řešením a využitím odpovídajících komponentů.

Jednotlivé formuláře jsou uvedeny v přílohách P8 – P16. Jednotlivá rizika dle předchozí tabulky byla snížena na přijatelnou hodnotu dle normy [47] a literatury [36]. Následující obrázek dokresluje celkový pohled na navržené robotizované pracoviště s implementovaným lisem včetně označených míst s riziky.



Obr. 96) Robotizované pracoviště s odkazy na jednotlivé zóny s riziky

10 VYHODNOCENÍ EKONOMIČNOSTI PROJEKTU

Vyhodnocení návratnosti robotizovaného pracoviště není v současném stavu projektu možné, neboť v době zpracovávání této kapitoly nebyly dodány cenové nabídky jednotlivých komponent a případné vyhodnocení by bylo poměrně nepřesné. Bude proto provedeno vyhodnocení ekonomičnosti pouze lisu, který je již provozován na půdě firmy a ceny jednotlivých nakupovaných nebo obráběných částí jsou známy.

V následující tabulce je uveden výčet nakupovaných a obráběných dílců. Dále je uveden přepočet konstrukčních a montážních prací a také nákladů na obsluhu. Jednotlivé hodinové sazby pro zainteresované pracovní pozice jsou přepočteny z průměrných platů na těchto pozicích dle doplněných statistických dat ČSÚ [49]. Platy jsou uvedeny včetně odvodů ze strany zaměstnavatele.

Tab 10) Položky ekonomického hodnocení [8][49]

Název položky	Cena [Kč]
Nakupované a obráběné dílce	800 000
Konstrukční práce, montážní práce	190 000
Legislativní náležitosti	50 000
Náklady na výrobu celkem	1 040 000
Informativní položky	
Personální náklady obsluha/rok	1 411 000
Nabídka firmy ve výběrovém řízení	1 800 000

V následujícím výpočtu je uveden zjednodušený výpočet s úsporou jednoho pracovníka na každé směně. Samozřejmě jistá úspora bude také způsobena nižším odběrem elektrické energie, nižším odběrem stlačeného vzduchu, nižšími servisními náklady, protože bude servisován pouze jeden stroj. Nezanedbatelná je také úspora místa, uspořené místo může být využito pro další operace. Tyto popsané detaily ovšem nejsou ve výpočtu zahrnuty. Co nelze přímo zahrnout do výpočtu jsou také náklady na reklamace způsobené špatně nalisovanými trny, nebo poškozením trubky, ke kterému docházelo poměrně často na starém lisu. Tento chybný proces je odstraněn přesným řízením tlaku.

$$K_r = \frac{N_{vc}}{N_{pr}} = \frac{1\,040\,000}{1\,411\,000} = 0,74 \text{ roku} \quad (96)$$

Kde:

N_{vc} [Kč] náklady na výrobu celkem, dle Tab. 10

N_{pr} [Kč] personální náklady obsluha/rok, dle Tab. 10

Z výpočtu je patrné, že výroba nového stroje je levnější nežli roční plat odvedený za obsluhu jednoho stroje. Samotnou úsporou personálu je docíleno návratnosti investice < 1 rok.

V předchozí tabulce je také uvedena nabídka jedné z firem, která se ucházela ve výběrovém řízení na konstrukci a stavbu lisu. Jak je z dat patrné, vlastním vývojem bylo uspořeno přibližně 760 000 Kč. To lze považovat za poměrně velký úspěch.

11 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

V předchozích kapitolách byl popsán postup návrhu a konstrukce lisu, respektive robotizovaného pracoviště. V následujících několika odstavcích budou rozebrány výsledky, kterých bylo dosaženo včetně možných doporučení, které vzešly v průběhu návrhu, konstrukce, výroby a předání do provozu.

Objektivně lze kritizovat přístup k vývoji v rámci firmy, kde je firma zadavatelem a investorem. Toto řešení sebou přináší zatížení práce vlivem představitelů firmy a do jisté míry je tím ovlivněna samotná práce daného zaměstnance. Navzdory tomuto úskalí interní vývoj výrobních strojů v případě dostatečné kapacity může vést ke snížení nákladů a tato práce je toho příkladem.

Ze zadání práce lze pozorovat, že stroj má být provozován v poměrně variabilních podmínkách (různé průměry a délky trnů, různé materiály). Bylo tedy nutné navrhnout takové řešení, které zajistí správnou hloubku zalisování. V tomto bodě by bylo vhodné doporučit použití servomotoru, který byl zmíněn v první konstrukční variantě a více by vyhovoval zmíněné aplikaci. Nicméně na základě požadavku zadavatele byl použit pneumatický pohon.

Z důvodu rozsahu práce nebylo možné provést detailní návrhové a konstrukční výpočty všech použitých komponentů a vyráběných částí. V případě průmyslových automatů se tento proces obvykle obchází předimenzováním stroje. V tomto spatřuji slabinu firem zabývajících se průmyslovou automatizací. Nicméně u podstatných a nejvíce namáhaných částí lisu byly tyto výpočty provedeny. Dále doporučuji provádět alespoň orientační návrhové výpočty, bez nutnosti pořizování výpočetních softwarů, které předejdou případným problémům při výrobě.

Návrh i samotná konstrukce lisu byla započata s dostatečným předstihem a lis je již plně nasazen ve výrobě. Z provedených zkoušek lze pozorovat, že stroj je schopen přeplnit požadovaný výrobní takt v závislosti na schopnostech operátora. V kapitole implementace lisu do robotizované buňky bylo prakticky prokázáno, že daná implementace je vhodná a dojde k několikanásobnému zvýšení produktivity práce. Bylo by také vhodné doporučit plánovat logistiku buňky, respektive termo-tvarovací pece, tak, aby byly soustředěny stejné průměry trubek do bloků a výměna čelistí tím byla minimalizována. Při pohledu na objemy zpracovávaných dílů by toto nemělo mít nežádoucí efekt na celý proces, právě naopak.

Některé části, kam patří například elektroinstalace, prostorová orientace buňky, kotvení robotů a oplocení, taktéž nejsou detailně dokončeny a mohou se od návrhu odklonit. Práce poskytuje návod, jak by mohla být implementace provedena a zmíněné body budou vyřešeny následně. Například u kotvení robotů doporučuji konzultaci se správou budovy.

V souvislosti s dílčími závěry jednotlivých kapitol lze považovat úkol za splněný v požadovaném rozsahu zadavatele. Bylo také docíleno tíženého zvýšení efektivity stroje. V průběhu výroby a montáže stroje nenastaly problémy, které by bylo třeba zásadním způsobem řešit a případně měnit konstrukci lisu. Předání do výroby proběhlo také bezproblémově. V současné době probíhá přípravná fáze stavby robotizované buňky.

12 ZÁVĚR

V prvních kapitolách práce bylo provedeno zhodnocení stávajícího lisu a představení výrobního procesu. Rešerše tvářecích operací hrdel trubek měla spíše informativní charakter, kdy účelem této kapitoly bylo seznámit čtenáře s využívanými metodami. Nicméně cílem práce nebyla změna principu výrobní operace, zůstal zachován stávající koncept lisování trnu.

V následující kapitole byly popsány dvě možné varianty konstrukčních návrhů. Na základě multikriteriální analýzy bylo vybráno řešení, které více odpovídalo požadavkům firmy. Následoval detailní popis návrhu a jednotlivých komponent. Tento návrh byl v následující kapitole doplněn o analytické a numerické výpočty, které buď potvrdily správnost volby komponent, nebo byla na jejich základě provedena opravná volba. Významnou součástí bylo také provedení a vyhodnocení experimentů měření potřebné lisovací síly a zjištění koeficientu tření třecí dvojice trubka – diamantový povrch čelisti. Na základě navržených sestav lisu byla provedena evaluace výrobního času, která byla následně posouzena se zadáním ze strany zadavatele.

Na základě provedeného návrhu byla zadána výroba a montáž lisu. Tento lis byl po několikátýdenní prodlevě sestaven a oživen. Následoval zkušební provoz a provedení legislativních náležitostí opravňující provoz stroje na území výrobního závodu. Bylo také provedeno kontrolní měření výrobního taktu, které potvrdilo návrhový výpočet.

Práce pokračovala návrhem robotizovaného pracoviště, u kterého bylo prokazatelným způsobem zabezpečeno snížení hrozícího nebezpečí poranění obsluhy a zvýšení výrobního taktu. Implementací navrženého lisu do robotizované buňky bylo dosaženo zvýšení efektivity přibližně o 220 %.

Konstrukčním řešením byly naplněny všechny cíle zadavatele. Pozn. požadované zvýšení taktu v zadání bylo uvažováno pro obsluhovaný lis.

Některé části, především pak návrh robotizované buňky, nebyly detailně analyticky a numericky zhodnoceny. Svůj význam na tomto zjednodušení lze přičíst také rozsahu práce. Nicméně v tomto bodě lze poukázat na zmíněný princip návrhu a konstrukce jednoúčelových strojů z úvodu práce. U jednoúčelových strojů včetně robotizace se obvykle neprovádí detailní návrhové a konstrukční výpočty, čehož je práce do jisté míry příkladem.

V závěru práce byla provedena analýza vybraných rizik a jejich snížení, v některých případech i úplná eliminace. Jako zásadní snížení rizika lze uvést zastoupení obsluhy lisu robotizovaným zakládáním a vyjímáním. V případě automatického cyklu se již obsluha nenachází v potenciální nebezpečné oblasti.

Z důvodu nedostatku dat k ekonomickému zhodnocení bylo provedeno hodnocení pouze vyrobeného lisu, u kterého bylo provedeno porovnání vůči nabízenému řešení jedné z firem zabývajících se automatizací. U tohoto finančního ukazatele bylo jednoznačně prokázáno snížení nákladů na výrobu vůči zmíněnému návrhu téměř o polovinu. Samotná úspora jednoho pracovníka každé směny znamenala návratnost investice menší než jeden rok.

Příloha práce obsahuje vybrané výkresy nejzajímavějších dílů a sestav, které dokreslují pohled na celkově navržený layout robotizovaného pracoviště. Věřím, že práce byla pro čtenáře přínosná a dílčí závěry poslouží alespoň firmě FRAENKISCHE CZ s.r.o. v jejím dalším vývoji automatizovaných výrobních stanic.

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Fraenkische. *Home page*. [online]. [cit. 2020-07-25]. Dostupné z: <https://www.fraenkische.com/en/>
- [2] *Časopis pro zaměstnance společnosti FRAENKISCHE CZ s.r.o.* Okříšky: nakladatelství Impresum. 12. Ročník, 1/2020.
- [3] *Časopis pro zaměstnance společnosti FRAENKISCHE CZ s.r.o.* Okříšky: nakladatelství Impresum. 12. Ročník, 2/2020.
- [4] *Časopis pro zaměstnance společnosti FRAENKISCHE CZ s.r.o.* Okříšky: nakladatelství Impresum. 12. Ročník, 3/2020.
- [5] *Selektivní katalytická redukce*. [online]. [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Selektivn%C3%AD_katalytick%C3%A1_redukce
- [6] DVOŘÁK, Milan, František, GAJDOŠ, Karel, NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [7] DVOŘÁK, Milan. *Stacionární pochody tažení*. Nekonvenční technologie – přednášky.
- [8] Interní zdroje firmy Fraenkische.
- [9] RUMÍŠEK, Pavel. *Plošné a objemové tváření (vícejazyčné názvosloví)*. Brno: Vysoké učení technické. 2004. 196 s.
- [10] Draw.io. [online - aplikace]. [cit. 2020-08-18]. Dostupné z: <https://app.diagrams.net/>
- [11] LIKEST. *Tube/Pipe/Profile end forming machine*. [online]. [cit. 2020-11-5]. Dostupné z: <https://www.punching-machine.com/tube-pipe-bar-end-forming-machine/index.htm>
- [12] BLMA. *Hydraulic tube-pipe end forming machine*. [online]. [cit. 2020-11-5]. Dostupné z: https://www.chinablma.com/hydraulic-tube-pipe-end-forming-former-machine_p29.html
- [13] AMOB. *Tube end forming machine – MB series end forming machine*. [online]. [cit. 2020-11-5]. Dostupné z: <https://www.amobgroup.com/products/tube-end-forming-machine/>
- [14] KIPP. *Products*. [online]. [cit. 2020-11-6]. Dostupné z: <https://www.kippwerk.de/de/en/Products.html>
- [15] Festo. *Pneumatické pohony*. [online]. [cit. 2020-11-6]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_010000
- [16] HIWIN. *Linear Guideways – Ball Guideway*. [online]. [cit. 2020-11-6]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/en/products/linear-guideways/ball-guideway>

- [17] DASSAULT SYSTEMES. *Solidworks*. Design software. [online]. [cit. 2020-11-14]. Dostupné z: <https://www.solidworks.com>
- [18] LEINVEBER, Jiří, Pavel, VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 6.vyd. Albra – pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2017. 943 s. ISBN 978-80-9361-111-8
- [19] STRATASYS. *Stratasys F123 series printers*. [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/3d-printers/f123>
- [20] STRATASYS. *ASA – material properties*. [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/asa>
- [21] KISTLER. *Single-beam infrared fork light barriers – data sheet*. [online]. [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/files/document/003-496e.pdf>
- [22] ABB. *Products*. [online]. [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <https://global.abb/group/en>
- [23] BĚHÁLEK. Luboš. *Polymery*. Verze knihy:15. [online]. [Code Dreator]. 2015. ISBN 978-80-88058-66-3. [cit. 2020-11-23]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [24] Einsingerplastics. *Low moisture nylon (PA612)*. [online]. [cit. 2020-11-24]. Dostupné z: <https://www.ensingerplastics.com/en-us/shapes/products/nylon-tecamid-612-natural>
- [25] Polymerdatabase. *High density polyethylene (HD-PE)*. [online]. [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://polymerdatabase.com/Commercial%20Polymers/HDPE.html>
- [26] Matweb. *Overview of materials for Ethylen Vinyl Alcohol (EVOH)*. [online]. [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=744899e4ab06482da9cf86d8f450db0d
- [27] Kinsella, M.E., Lilly, B., Gardner, B.E. and Jacobs, N.J. *Experimental determination of friction coefficients between thermoplastics and rapid tooled injection mold materials*. Rapid Prototyping Journal. 2005. Vol. 11 No. 3. pp. 167-173.
- [28] NATIS. *Snímač síly model H3*. [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.natis.cz/snimace-sily-tenzometry/snimac-sily-model-h3/det/6/28/60/551/0>
- [29] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení – část tvářecí stroje*. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, odbor tváření. Brno, 2002.
- [30] ČECHURA, Milan, Jan, HLAVÁČ, Jiří, STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů – Učební texty pro bakalářské a navazující magisterské studium*. Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní knihovna, 2015. 109 s. ISBN 978-80-261-0513-8.
- [31] Gutekunst Fedrn. *Detail page VD-217B*. [online]. [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: https://www.federnshop.com/cz/katalog_pru%C5%BEin/tlacn%C3%A9_pru%C5%BEiny/vd-217b.html

- [32] HIWIN. *Lineární vedení - katalog*. [online]. [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/download>
- [33] PMI. *Lineární vedení – katalog*. [online]. [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: https://www.loziska.com/store/lin_vedeni_pmi.pdf
- [34] NSK. *Linear guideway - catalog*. [online]. [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.nsk.com/common/data/ctrpPdf/e3332b.pdf>
- [35] SMC. *Booster Regulator/Air Tank, Series VBA/VBAT – catalog*. [online]. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: http://ca01.smcworld.com/catalog/en/fri/VBA-E/6-6-p1007-1038-vba_en/data/6-6-p1007-1038-vba_en.pdf
- [36] KOLÍBAL, Zdeněk a spol. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [37] Festo. *Paralelní chapadlo HGPL-B, robustní s dlouhým zdvihem – katalog*. [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/HGPL-B_CZ.PDF
- [38] HIWIN. *Drives and Servo Motors*. [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/motory/servo-motory/118_servo-motor-fri-200w
- [39] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 1.vyd. MM speciál, Praha: MM publishing, s.r.o., 2006. 284 s. ISBN 12122572.
- [40] MALÁŠEK, Jiří. *Obecný přístup k návrhu pohonů dopravních a manipulačních zařízení*. Dopravní a manipulační zařízení – přednášky.
- [41] HIWIN. *Lineární osa KK100 typ F*. [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-osy/osy-s-kulickovym-sroubem/linearni-osy-kk/linearni-osy-kk-typ-f/128_linearni-osa-kk100-typ-f
- [42] SIEMENS. *Mall industry – servomotor without gearbox*. [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/spice/pcmplus/app/>
- [43] Bosch Rexroth. *TS 2 plus Transfer System*. [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/cs/cz/produkty/skupiny-produktu/montazni-technika/transfer-systems/ts-2plus-transfer-system>
- [44] KUKA. *Flexible, cost-effective robots for application such as handling, welding, palletizing or adhesiv bonding*. [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-cybertech-nano>
- [45] CHUNK. *Superior Clamping and Gripping, Gripper for small components MPG-plus 50 – catalog*. [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0020085.PDF>

- [46] EUCHNER. *Products – locking set*. [online]. [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <https://www.euchner.de/en-us/a/115672/>
- [47] ČSN EN ISO 12100:2011 (833001). *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [48] NOVOTNÝ, L. *Vyjížděcí stůl karosářského lisu*. [online]. [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/108569>. Diplomová práce. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. 2018, 163 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.
- [49] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Statistiky*. [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/statistiky>

14 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

14.1 Seznam zkratek

a_m	[m/s ²]	zrychlení posuvu
C_{dyn}	[N]	dynamická únosnost
d_{14v}	[mm]	vnitřní průměr 14 mm trubky
d_{ch}	[m]	průměr pístnice DFM-32-100
D_{ch}	[m]	průměr pístu DFM-32-100
d_{pdt}	[m]	průměr pístu ADN-40-10
d_{pf}	[m]	průměr pístu DSBG-80-125
d_{pt}	[m]	průměr pístu DFM-100-80
d_{pruz}	[mm]	průměr pružiny
d_{pt}	[m]	průměr pístnice DSNU-16-50
D_{pt}	[m]	průměr pístu DSNU-16-50
d_r	[-]	počet pracovních dnů v roce
d_{tru}	[mm]	vnější průměr trubky
F_{1ch}	[N]	zatížení jednoho chapadla
f_c	[-]	koeficient znečištěných/zanesených čelistí
F_{dc}	[N]	maximální síla na jedné fixační desce
f_{dyn}	[-]	bezpečnostní faktor, pro zatížení s vibracemi
F_f	[N]	max. vyžadovaná síla fixace
F_{fekv}	[N]	ekvivalentní zatížení vozíku
F_{gb}	[N]	gravitační síla beranu
F_{gftch}	[N]	gravitační síla od fixace trnů
F_{gch}	[N]	gravitační síla od chapadla
F_{ch}	[N]	síla pístu DFM-32-100 při zpětném chodu
F_{lm}	[N]	max. síla lisování (přepočteno na 5 trubek)
F_{ls}	[N]	průměrná síla lisování
F_m	[N]	zatížení při zrychlování
F_n	[N]	průměrná síla fixace
F_o	[N]	osová síla v ojnici
F_p	[N]	síla pružiny
F_{pc}	[N]	síly od všech pružin v beranu
F_{pdt}	[N]	pracovní síla dorovnání trnů
F_{pf}	[N]	max. síla pístu DSBG-80-125

$F_{pf_0,4b}$	[N]	síla uzavření čelistí
F_{pfn}	[N]	pracovní síla fixace
F_{pl}	[N]	max. síla pístu DFM-100-80
F_{ply}	[N]	y-nová složka síly pístu DFM-100-80 při vymezení trnů
F_{pt}	[N]	síla pístu DSNU-16-50 při zpětném chodu
F_{px}	[N]	posouvající síla na jednom vozíku
F_{ra}	[N]	reakční síla ve vazbě A
F_{rb}	[N]	reakční síla ve vazbě B
F_{rc}	[N]	reakční síla ve vazbě C
F_{rd}	[N]	reakční síla ve vazbě D
F_{rvf}	[N]	výsledná reakční síla v jednom vozíku
F_{rvl}	[N]	výsledná reakční síla v jednom vozíku (vazba D)
f_s	[-]	koeficient tření trubka – čelist s diamantovým povrchem
F_t	[N]	tečná složka síly na klice
f_{tl}	[-]	součinitel tření, kluzné vedení
F_v	[N]	síla působící do vedení
f_w	[-]	faktor zatížení, pro zatížení s rázy
F_x	[N]	celková posouvající síla působící na vedení
F_{xch}	[N]	maximální přípustná síla
F_{ypt}	[N]	síla pístu DSNU-16-50 ve vertikálním směru
F_{yptu}	[N]	upravená síla pístu DSNU-25-50 ve vertikálním směru
HD-PE	[mm]	deformace stěny trubky z HD-PE
K	[-]	písty uvažovány jako jednočinné
L	[m]	délka ojnice
l	[mm]	délka stlačené pružiny
l_{bv}	[m]	vzdálenost těžiště beranu a vazby D
l_{dk}	[mm]	délka zdvihu válce dotlačení kroužků
l_{dt}	[mm]	délka zdvihu válce dorovnání trnů, ADN-40-10
l_{fpl}	[mm]	rameno působení síly F_{pl}
l_{fs}	[mm]	skutečný zdvih pístu fixace
l_{ft}	[mm]	délka zdvihu válce fixace těles s trny
l_{fv}	[mm]	rameno působení síly F_v
l_{fypt}	[m]	vzdálenost působení síly pístu DSNU-16-50 od rot. vazby
L_{hf}	[hod]	hodinová životnost
L_{hl}	[hod]	hodinová životnost
l_{lis}	[mm]	dráha lisování trnu, uvažováno s rezervou
l_{max}	[mm]	maximální dráha lisování

L_{mf}	[m]	nominální životnost
L_{ml}	[m]	nominální životnost
l_{ply}	[m]	vzdálenost středu vzpříčení trnů od těžiště beranu
l_{rv}	[m]	vzdálenost vazeb C a D
l_{ftch}	[m]	vzdálenost těžiště sestavy od rotační vazby
l_v	[m]	vzdálenost vazeb A a B
l_{zf}	[m]	délka zdvihu
l_{zl}	[m]	délka zdvihu
m_{lch}	[kg]	zatížení jednoho chapadla
m_b	[N]	celková hmotnost beranu
m_{dcha}	[kg]	maximální doporučené zatížení chapadla
m_{ftch}	[kg]	hmotnost zvedané fixace trnů
M_{gftch}	[Nm]	moment od sestavy vztažený k rotační vazbě
m_{ch}	[kg]	hmotnost zvedaného břemene
M_j	[Nm]	jmenovitý moment servomotoru
m_k	[kg]	hmotnost posouvající se konzole
m_o	[N]	hmotnost ostatních částí beranu
m_{oc}	[N]	hmotnost obráběných částí a fixačních válců beranu
M_{sm}	[Nm]	požadovaný moment servomotoru při rozjezdu
m_{tr}	[kg]	hmotnost nejdelší trubky s trnem a pružinou
M_{ypt}	[Nm]	moment působící píst k rotační vazbě
M_{yptu}	[Nm]	moment působící upravený píst k rotační vazbě
n_l	[-]	počet recipročních cyklů lisu za minutu
n_{ds}	[-]	uvažovaný počet skutečně zatížených drážek
n_p	[-]	počet pružin v beranu
n_{pb}	[-]	počet pozic v beranu
N_{pr}	[Kč]	personální náklady obsluha/rok
n_t	[-]	počet trnů lisovaných v jednom cyklu
N_{vc}	[Kč]	náklady na výrobu celkem
p	[MPa]	tlak vyvinutý na trubku
P	[N]	maximální dovolená zátěž jednoho vozíku
p_1	[MPa]	vstupní tlak do násobiče
p_{2f}	[MPa]	vyžadovaný vstupní tlak pístu fixace
p_{2l}	[MPa]	vyžadovaný vstupní tlak pístu lisování
p_3	[MPa]	maximální tlak v zásobníku stlačeného vzduchu
$PA612$	[mm]	deformace střeny trubky z PA 612
p_{dt_4b}	[Pa]	tlak pístu ADN-40-10

$p_{f_0,4b}$	[Pa]	minimální vstupní tlak pístu DSBG-80-125
p_{f_6b}	[Pa]	vstupní tlak pístu DSBG-80-125
p_{ch_4b}	[Pa]	vstupní tlak pístu DFM-32-100
P_j	[W]	jmenovitý výkon servomotoru
$p_{kš}$	[m]	stoupání kuličkového šroubu
p_{l_10b}	[Pa]	maximální vstupní tlak pístu DFM-100-80
p_{pt_5b}	[Pa]	vstupní tlak pístu DSNU-16-50
p_r	[MPa]	vstupní tlak do násobiče
pr_{m_d}	[mm]	deformace vnitřního průměru trubky
pr_{m_p}	[mm]	minimální rozdíl průměru trubky a pružiny
P_{sm}	[W]	požadovaný výkon servomotoru při rozjezdu
Q_b	[L/min]	maximální průtok stlačeného vzduchu násobiče
Q_n	[L/min]	vyžadovaný průtok stlačeného vzduchu
r	[m]	délka páky
R	[m]	délka ramene kliky
r_p	[N/mm]	tuhost pružiny
Re_c	[MPa]	mez kluzu C45E
Re_no	[MPa]	mez kluzu 1.2316
r_m	[-]	poměr zvýšení tlaku
S_{celist}	[mm ²]	plocha pracovní části čelisti
S_{ch}	[m ²]	plocha pístu DFM-32-100, zpětný chod
S_{pdt}	[m ²]	plocha pístu ADN-40-10
S_{pf}	[m ²]	plocha pístu DSBG-80-125
S_{pl}	[m ²]	plocha pístu DFM-100-80
S_{pt}	[m ²]	plocha pístu DSNU-16-50, zpětný chod
S_t	[mm ²]	plocha pracovní části čelistí průměru 14 mm
T_1	[s]	čas dobíjení na tlak p_{2l}
T_2	[s]	čas dobíjení na tlak p_3
t_c	[s]	čas cyklu
T_c	[s]	čas cyklu
T_{cm}	[s]	prostoje cyklu, zakládání a vyjímání dílů atd.
t_{dkzp}	[s]	čas zasunutí válce dotlačení kroužků do základní polohy
t_{dtp}	[s]	čas výsunu válce dorovnání trnů do pracovní polohy
T_{fs}	[s]	skutečný operační čas fixace
t_{fspp}	[s]	čas výsunu válce fixace do pracovní polohy
t_{ftpp}	[s]	čas výsunu válce fixace těles s trny do pracovní polohy
T_{ls}	[s]	skutečný operační čas lisování

t_{lspp}	[s]	čas výsunu válce lisování trnů do pracovní polohy
t_{lzp}	[s]	čas zasunutí válce lisování trnů do základní polohy
T_m	[s]	nejrychlejší naměřený čas cyklu
T_o	[s]	operační čas fixace a lisování při max. odběru s rezervou
T_p	[s]	kritický čas dobíjení zásobníku stlačeného vzduchu
t_{pec}	[min]	čas cyklu pece
t_{rv}	[s]	čas vyjmutí trubek z lisu a vrácení na paletu
t_{rz}	[s]	čas založení trubek
t_{rzc}	[s]	čas založení trubek
T_s	[s]	prostoje cyklu, zakládání a vyjímání dílů atd.
t_s	[s]	strojový čas cyklu
t_{sd}	[hod]	počet pracovních hodin za den
t_{vc}	[s]	čas výměny čelistí
u	[°]	úhel mezi pístem a horizontální osou
v_{dk}	[mm/s]	rychlost výsunu válce DSNU-8-30
v_{dt}	[mm/s]	rychlost výsunu válce ADN-40-10
v_{ft}	[mm/s]	rychlost výsunu válce ADN-32-10
v_{lzp}	[mm/s]	rychlost zasunutí válce DFM-100-80
v_m	[m/s]	rychlost posuvu
V_n	[L]	požadovaný objem zásobníku
v_{pf_s}	[mm/s]	skutečná rychlost pístu fixace
v_{pl_s}	[mm/s]	skutečná rychlost pístu lisování
v_{ref}	[m/s]	50 % maximální rychlost válce DFM-100-80
x_{trm}	[-]	počet trnů v cyklu pece
x_{vf}	[-]	celkový počet vozíků na jedné koleji
x_{vfk}	[-]	celkový počet vozíků
x_{vl}	[-]	celkový počet vozíků za sebou v jedné vazbě
Z_n	[-]	počet násobičů tlaku
α	[°]	úhel před dolní úvratí
β	[°]	úhel odklonu ojnice
γ	[°]	úhel svírající tečná složka síly F_o
$\Delta HD-PE$	[mm]	vůle mezi zdeformovanou stěnou trubky a pružinou
$\Delta PA 612$	[mm]	vůle mezi zdeformovanou stěnou trubky a pružinou
η_s	[-]	účinnost kuličkového šroubu
η_{sm}	[-]	účinnost servomotoru
η_v	[-]	účinnost kluzného vedení
λ_p	[-]	poměr délky kliky a ojnice

σ_{c_1}	[MPa]	maximální napětí na čepu
σ_{c_2}	[MPa]	maximální napětí na čepu
σ_{fd}	[MPa]	maximální napětí na fixační desce
σ_p	[MPa]	maximální napětí na páce
σ_{po}	[MPa]	maximální napětí na podkově
ω_t	[°]	odklon trnu od osy

14.2 Seznam tabulek

TAB 1)	MAX. PRACOVNÍ TEPLoty POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ [1]	20
TAB 2)	PARAMETRY NOVÉHO LISU [8]	31
TAB 3)	KRITÉRIA PRO VOLBU KONCEPCE AUTOMATICKÉHO LISU	36
TAB 4)	PARAMETRY AUTOMATICKÉHO LISU	49
TAB 5)	ZÁKLADNÍ ROZMĚRY TRUBEK A TRNŮ V [MM] [8]	51
TAB 6)	TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT SÍLY UPNUTÍ A LISOVÁNÍ	53
TAB 7)	VŮLE, VNITŘNÍ PRŮMĚR TRUBKY - PRUŽINA	58
TAB 8)	TABULKA NAMĚŘENÝCH ČASŮ DLE POČTU PRO JEDNOTLIVÉ ÚSEKY [8]	77
TAB 9)	VYBRANÁ VÝZNAMNÁ NEBEZPEČÍ	101
TAB 10)	POLOŽKY EKONOMICKÉHO HODNOCENÍ [8][49]	103

14.3 Seznam obrázků

OBR. 1)	OFICIÁLNÍ LOGO FIRMY FRAENKISCHE [1]	19
OBR. 2)	A) AUTOBATERIE ULOŽENÉ V PODLAZE B) ROZVODY MÉDIÍ SPALOVACÍHO MOTORU [1]	19
OBR. 3)	A) T-SPOJKA KABELOVÝCH OCHRAN B) KONEKTOR S KABELOVOU OCHRANOU [1]	20
OBR. 4)	A) BRZDOVÉ SYSTÉMY B) PALIVOVÉ SYSTÉMY [1]	20
OBR. 5)	CHLAZENÍ BATERIÍ – MODŘE PŘÍVOD CHLADNÉHO MÉDIA, ČERVENĚ ODVOD OHŘÁTÉHO MÉDIA [1]	21
OBR. 6)	ZÁKLADNÍ TRUBKA VZOROVÉHO DÍLU [2]	21
OBR. 7)	SCHÉMA EXTRUDÉRU [2]	22
OBR. 8)	ŠNEK EXTRUDÉRU S ROZŠÍŘUJÍCÍM SE STŘEDEM [2]	22
OBR. 9)	TRUBKY ZAPLETENÉ DO KAVIT [3]	22
OBR. 10)	PRACOVNÍ CYKLUS TVAROVACÍ PECE [3]	23
OBR. 11)	VÝROBEK PO PROCESU TERMO-TVAROVÁNÍ [3]	23
OBR. 12)	ORIENTO VANÁ TRUBKA PŘI LISOVÁNÍ KONEKTORU [4]	24
OBR. 13)	ZÁSTAVBA DÍLU V KAROSERII [4]	24

OBR. 14) SCHÉMA ROTUJÍCÍHO TRNU [9]	25
OBR. 15) SCHÉMA LISOVANÉHO TRNU [8]	25
OBR. 16) SCHÉMA RADIÁLNÍCH ČELISTÍ [9]	25
OBR. 17) LISOVÁNÍ KONCŮ TRUBEK STROJEM FIRMY LIKEST [11]	26
OBR. 18) LISOVACÍ STROJ TM-40 [12]	26
OBR. 19) LISOVÁNÍ 3 TRUBEK ZÁROVEŇ. PRVNÍ POZICE SLOUŽÍ K ZALOŽENÍ [13]	27
OBR. 20) TULIPOVACÍ STROJ (LIS) OBSAHUJÍCÍ – (1) FIXACI, (2) PNEUMATICKÝ POHON, (3) SPOUŠTĚCÍ TLAČÍTKA A (4) KRABICE NA ZÁKLADNÍ TRUBKY [8]	28
OBR. 21) ČELISTI A TRUBKA S NALISOVANÝM TRNEM [8]	28
OBR. 22) TRN S PRUŽINOU [8]	28
OBR. 23) SPRÁVNĚ NALISOVANÝ TRN DO ZÁKLADNÍ TRUBKY [8]	29
OBR. 24) VÝVOJOVÝ DIAGRAM PRACOVNÍHO POSTUPU [8][10]	30
OBR. 25) UPÍNACÍ PÁKA ČELISTÍ [8][14]	32
OBR. 26) ŘEZ UPÍNACÍ PÁKOU [8][14]	32
OBR. 27) PNEUMATICKÝ POHON DFM-80-80-P-A-GF [8][15]	32
OBR. 28) 1. KONSTRUKČNÍ VARIANTA LISU	33
OBR. 29) FIXACE 1. VARIANTA – (1) ULOŽENÍ PEVNÝCH ČELISTÍ, (2) PEVNÁ ČELIST, (3) POHYBLIVÁ ČELIST, (4) ULOŽENÍ POHYBLIVÝCH ČELISTÍ – PRACOVNÍ ČÁST MECHANISMU, (5) PNEUMATICKÝ POHON, (6) ULOŽENÍ PNEUMATICKÉHO POHONU	33
OBR. 30) LISOVÁNÍ 1. VARIANTA – (1) BERAN SPODNÍ, (2) TÁHLA, (3) VÁLCE NA TRNY, (4) PRUŽINY, (5) DESKA ULOŽENÍ BERANU, (6) PNEUMATICKÝ VÁLEC FIXACE OBOU ČÁSTÍ BERANU, (7) DESKA, (8) KULIČKOVÝ ŠROUB, (9) MATICE KULIČKOVÉHO ŠROUBU, (10) SYNCHRONNÍ SERVOMOTOR, (11) LINEÁRNÍ VEDENÍ SESTAVY LISOVÁNÍ, (12) VALIVÉ VOZÍKY LINEÁRNÍHO VEDENÍ, (13) BERAN HORNÍ	34
OBR. 31) A) NEDOTLAČENÝ TRN B) DOTLAČENÝ TRN	34
OBR. 32) 2. KONSTRUKČNÍ VARIANTA LISU	35
OBR. 33) FIXACE 2. VARIANTA – (1) OPĚRNÁ DESKA PEVNÉ ČELISTI, (2) OPĚRNÁ DESKA POHYBLIVÉ ČELISTI, (3) PEVNÁ ČELIST, (4) POHYBLIVÁ ČELIST, (5) POSUVNÉ TĚLESO ČELISTÍ, (6) PEVNÉ TĚLESO ČELISTÍ, (7) LINEÁRNÍ VEDENÍ, (8) A (11) PÁKA, (9) ČEP, (10) VALIVÉ VOZÍKY LINEÁRNÍHO VEDENÍ, (12) PNEUMATICKÝ POHON	35
OBR. 34) LISOVÁNÍ 2. VARIANTA – (1) BERAN SPODNÍ, (2) TĚLESA NA TRNY, (3) BERAN HORNÍ, (4) FIXAČNÍ DESKY, (5) PODKOVA, (6) PRUŽINY, (7) LINEÁRNÍ VEDENÍ, (8) PNEUMATICKÝ VÁLEC FIXACE TRNŮ, (9) PNEUMATICKÝ VÁLEC DOROVNÁNÍ TRNŮ, (10) VALIVÉ VOZÍKY LINEÁRNÍHO VEDENÍ, (11) PNEUMATICKÝ VÁLEC LISOVÁNÍ	36

OBR. 35)ČELISTI – (1) PEVNÁ ČELIST, (2) POHYBLIVÁ ČELIST, (3) OPĚRNÁ DESKA PEVNÉ ČELISTI, (4) OPĚRNÁ DESKA POHYBLIVÉ ČELISTI, (5) KOLÍKY	40
OBR. 36)A) FIXACE – (1) PEVNÉ TĚLESO ČELISTÍ, (2) POSUVNÉ TĚLESO ČELISTÍ, (3) VOZÍK HGW20HC, (4) VEDENÍ HGR20R B) PRŮCHOD TĚLES40	
OBR. 37)SESTAVA FIXACE – (1) PNEUMATICKÝ VÁLEC DSBG-80-125, (2) VIDLICOVÁ KONCOVKA SG-M20X1,5, (3) PÁKA, (4) ČEPY, (5) ULOŽENÍ PÍSTU VŮČI STOLU	41
OBR. 38)A) LISOVÁNÍ – (1) TĚLESA NA TRNY, (2) FIXAČNÍ DESKY, (3) PNEUMATICKÝ VÁLEC ADN-32-10, (4) PNEUMATICKÝ VÁLEC DSNU-8-30, (5) BERAN SPODNÍ, (6) BERAN HORNÍ, (7) SENZOR PKI-50/W-3-P2, (8) HRÍDEL, (9) PÁČKY B) VEDENÍ V BERANU.....	42
OBR. 39)SESTAVA LISOVÁNÍ – (1) PNEUMATICKÝ VÁLEC DFM-100-80, (2) PNEUMATICKÝ VÁLEC ADN-40-10, (3) VOZÍK HGW20H, (4) VEDENÍ HGR20R, (5) PODKOVA	43
OBR. 40)DESKA – (1) DESKA STOLU, (2) VÝZTUHA, (3) LŮŽKA	43
OBR. 41)RÁM – (1) RÁM Z HLINÍKOVÝCH PROFILŮ, (2) OVLÁDACÍ PANEL, (3) ROZVADĚČ, (4) SPOUŠTĚCÍ TLAČÍTKA – BEZPEČNOSTNÍ, (5) TUBUSY NA TRUBKY, (6) KRYTOVÁNÍ POHYBLIVÝCH ČÁSTÍ, (7) ODKLÁDACÍ PLOCHA PRO ČELISTI	44
OBR. 42)MAGNETICKÉ ČIDLO SMT-8M-A [15]	44
OBR. 43)SENZOR PKI-50/W-3-P2 [21]	45
OBR. 44)PROPORCIONÁLNÍ VENTIL VPPM-6L-L-1-G18-0L10H-LK-S1 [15]	45
OBR. 45)SAFEBALL JSD-TDI-130700 [22]	46
OBR. 46)DOTYKOVÉ MENU OVLÁDACÍHO PANELU (NAVRŽENÉ ELEKTRO ODDĚLENÍM) [8].....	46
OBR. 47)A) ÚPRAVA STLAČENÉHO VZDUCHU B) NÁSOBIČ TLAKU A ZÁSOBNÍK STLAČENÉHO VZDUCHU [15]	47
OBR. 48)NAVRŽENÝ LIS	49
OBR. 49)ŘEZ TRUBKY, ROZMĚRY JSOU UVEDENY PRO PRŮMĚR 18 MM [8]52	
OBR. 50)PRŮBĚH SÍLY PŘI EXPERIMENTÁLNÍM LISOVÁNÍ TRNU	52
OBR. 51)SCHÉMA KLIKOVÉHO MECHANISMU	54
OBR. 52)PRŮBĚH SÍLY PRUŽINY VD-217B	56
OBR. 53)ZDEFORMOVANÁ TRUBKA PŘI PRVNÍM KROKU UPNUTÍ	57
OBR. 54)PŮVODNÍ NÁVRH OJNICNÍHO ČEPU PODROBEN MKP STUDII.....	59
OBR. 55)UPRAVENÝ OJNICNÍ ČEP	59
OBR. 56)NAPĚTÍ NA KLIKOVÉM ČEPU	60
OBR. 57)NAPĚTÍ ZJIŠTĚNÉ NA PÁCE (KLICE)	60
OBR. 58)MOMENTOVÁ ROVNOVÁHA VEDENÍ FIXACE	61
OBR. 59)MOMENTOVÁ ROVNOVÁHA VEDENÍ BERANU	64

OBR. 60)NAPĚTÍ NA PODKOVĚ	66
OBR. 61)NAPĚTÍ NA FIXAČNÍ DESCE	67
OBR. 62)NÁSOBIČ TLAKU SMC [35]	69
OBR. 63)GRAF PLNĚNÍ ZÁSOBNÍKU STLAČENÉHO VZDUCHU [35].....	70
OBR. 64)VÝVOJOVÝ DIAGRAM PRACOVNÍHO POSTUPU [8][10]	73
OBR. 65)VÝVOJOVÝ DIAGRAM ŘÍDÍCÍHO PROGRAMU [8][10]	74
OBR. 66)NAMĚŘENÁ DATA PRO ZVOLENÉ ÚSEKY [8]	77
OBR. 67)3D POHLED NA ZKONSTRUOVANÝ LIS [8]	79
OBR. 68)POHLED NA PRACOVNÍ PROSTOR LISU [8].....	79
OBR. 69)LŮŽKA S ČELISTMI NA FIXOVÁNÍ TRUBEK, ŽLUTÉ VÝSTRAŽNÉ NÁLEPKY V PROSTORU PŘED LŮŽKY UPOZORŇUJÍ NA HROZÍCÍ NEBEZPEČÍ ZMÁČKNUTÍ [8].....	80
OBR. 70)NÁSOBIČ TLAKU A ZÁSOBNÍK STLAČENÉHO VZDUCHU [8].....	80
OBR. 71)1. KROK, ZALOŽENÍ TRUBEK S TRNY DO LISU	80
OBR. 72)2. KROK, FIXACE A DOTLAČENÍ KROUŽKŮ	81
OBR. 73)3. KROK, DOROVNÁNÍ TRNŮ	81
OBR. 74)4. KROK, FIXACE TĚLES S TRNY	81
OBR. 75)5. KROK, LISOVÁNÍ TRNŮ DO TRUBEK	82
OBR. 76)6. KROK, UVOLNĚNÍ FIXACÍ A PŘESUN VŠECH VÁLCŮ DO ZÁKLADNÍ POZICE	82
OBR. 77)VÝSLEDNÝ PRODUKT	82
OBR. 78)NAVRHOVANÝ LAYOUT ROBOTIZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ	83
OBR. 79)A) CHAPADLO – (1) PNEUMATICKÝ POHON DFM-32-100, (2) STAVITELNÝ ŠROUB ZDVIHU SESTAVY, (3) UCHYCENÍ CHAPADLA, (4) PNEUMATICKÝ POHON HGPL-14-20, (5) DORAZ FIXOVÁNÍ ČELISTÍ, (6) DESKA FIXACE, (7) PŘÍVOD KABELÁŽE A PNEUMATIKY B) DETAIL ZAFIXOVÁNÍ ČELISTÍ	84
OBR. 80)ZATÍŽENÍ CHAPADLA	85
OBR. 81)MANIPULÁTOR – (1) KULIČKOVÝ ŠROUB KK10020X-1280A1-F000, (2) SERVOMOTOR FRLS2020506A SE SPOJKOU, (3) KONZOLA, (4) ENERGETICKÝ ŘETĚZ, (5) LŮŽKA	86
OBR. 82)DOPRAVNÍK – (1) VODÍCÍ LIŠTY, (2) POHON DOPRAVNÍKU, (3) PNEUMATICKÉ ZARÁŽKY, (4) RFID ČTEČKY	88
OBR. 83)A) SEVŘENÉ CHAPADLO B) OTEVŘENÉ CHAPADLO	88
OBR. 84)ZAMEZENÍ KOLIZE EFEKTORU A PODSESTAVY LISOVÁNÍ.....	89
OBR. 85)MOMENTOVÁ ROVNOVÁHA ZDVIHU FIXACE TRNŮ	89
OBR. 86)KONCOVÝ EFEKTOR ZAKLÁDÁNÍ – (1) PŘÍRUBA K ROBOTU, (2) CHAPADLA SCHUNK, (3) FIXACE TRNŮ	91

OBR. 87) KONCOVÝ EFEKTOR VYJÍMÁNÍ.....	91
OBR. 88) ROBOT KUKA KR_10_R1440-2 [44].....	92
OBR. 89) TĚŽIŠTĚ KONCOVÉHO EFEKTORU	92
OBR. 90) PLATO NA TRUBKY – (1) PLATO WT-2, (2) FORMY (BLOKY) Z 3D TISKU	93
OBR. 91) ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ.....	93
OBR. 92) ČASOVÁ OSA CYKLU S VÝMĚNOU ČELISTÍ.....	94
OBR. 93) BEZPEČNOSTNÍ PRVKY - KRYTY.....	98
OBR. 94) BEZPEČNOSTNÍ OPLOCENÍ ROBOTIZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ.....	99
OBR. 95) DIAGRAM PRO ODHAD RIZIKA [36][47][48]	100
OBR. 96) ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ S ODKAZY NA JEDNOTLIVÉ ZÓNY S RIZIKY	102

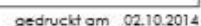
15 SEZNAM PŘÍLOH

- P1 – Výkres vzorového dílu
- P2 – Výkres vzorového trnu
- P3 – Diamantový povrch čelistí
- P4 – Upravené uložení ojnicního čepu
- P5 – Toleranční pole tělesa pro trny
- P6 – Katalogový list chapadla SCHUNK MPG-plus 50
- P7 – Katalogový list robotu KUKA KR_10_R1440-2
- P8 – Nebezpečí zmáčknutí při fixaci dílců
- P9 – Nebezpečí kontaktu s pohybujícím se robotem
- P10 – Nebezpečí naražení o oplocení
- P11 – Nebezpečí při automatickém cyklu
- P12 – Nebezpečí při nastavování robotu
- P13 – Nebezpečí při ručním řízení stanice
- P14 – Nebezpečí úrazu elektrickým proudem
- P15 – Nebezpečí popálení od pásu dopravníku
- P16 – Nebezpečí popálení od motorů

Výkresová dokumentace

- 752051 – Lisovací stůl
- 752052 – Deska
- 752053 – Sestava lisování
- 752055 – Beran – spodní část
- 752056 – Těleso na trny
- 752057 – Beran – horní část
- 752065 – Sestava fixace
- 752077 – Zakládací blok
- 752115 – Layout
- 752289 – Páka
- 752303 – Pohyblivá základna
- 752304 – Základna
- 752402 – Čelist pevná

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmusterteilung. Eine unsere vorherige ausdrückliche Zustimmung in Schriftform

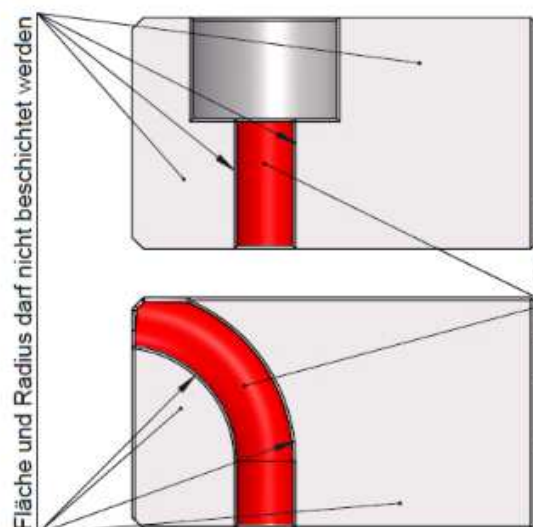


P3 – Diamantový povrch čelistí

Nur diese Unterlage benutzen wir und die Rechte vor, auch zur den Fall der Patentierung oder Gebrauchsmustereintragung. Eine unsere vorherige ausdrückliche Zustimmung in Schriftform

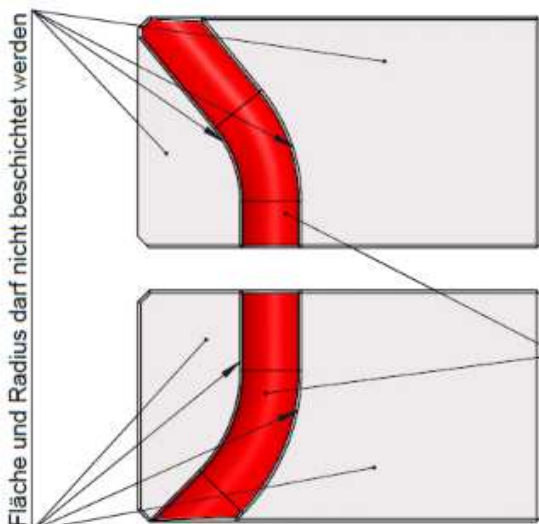
Daß diese Unterlage weder vervielfältigt noch urrassn zugänglich gemacht oder ihr Inhalt mitgeteilt werden. Die Unterlage darf durch den Empfänger oder Dritte auch nicht in anderer Weise

verwertet werden. – Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz und können strafrechtliche Folgen haben. §§ 1, 2, 11, 15, 97, 106 UHG; §§ 1 und 18 UWG, § 823 BGB).



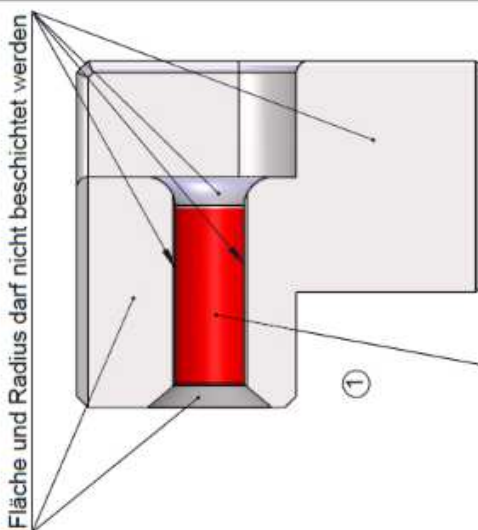
Spannbereich / 3D Kontur
Diamantbeschichtet
Rz min 60/ Rz max 80 (D76)
Schichtdicke 0.1mm ± 0,02

Clamping Area / 3D contour
Diamond coated
Rz min 60 / Rz max 80 (D76)
Layer thickness 0.1mm \pm 0.02



Spannbereich/3D Kontur
Diamantbeschichtet
Rz min 60/ Rz max 80 (D76)
Schichtdicke 0.1mm ± 0.02

Clamping Area / 3D contour
Diamond coated
Rz min 60 / Rz max 80 (D76)
Layer thickness 0.1mm \pm 0.02



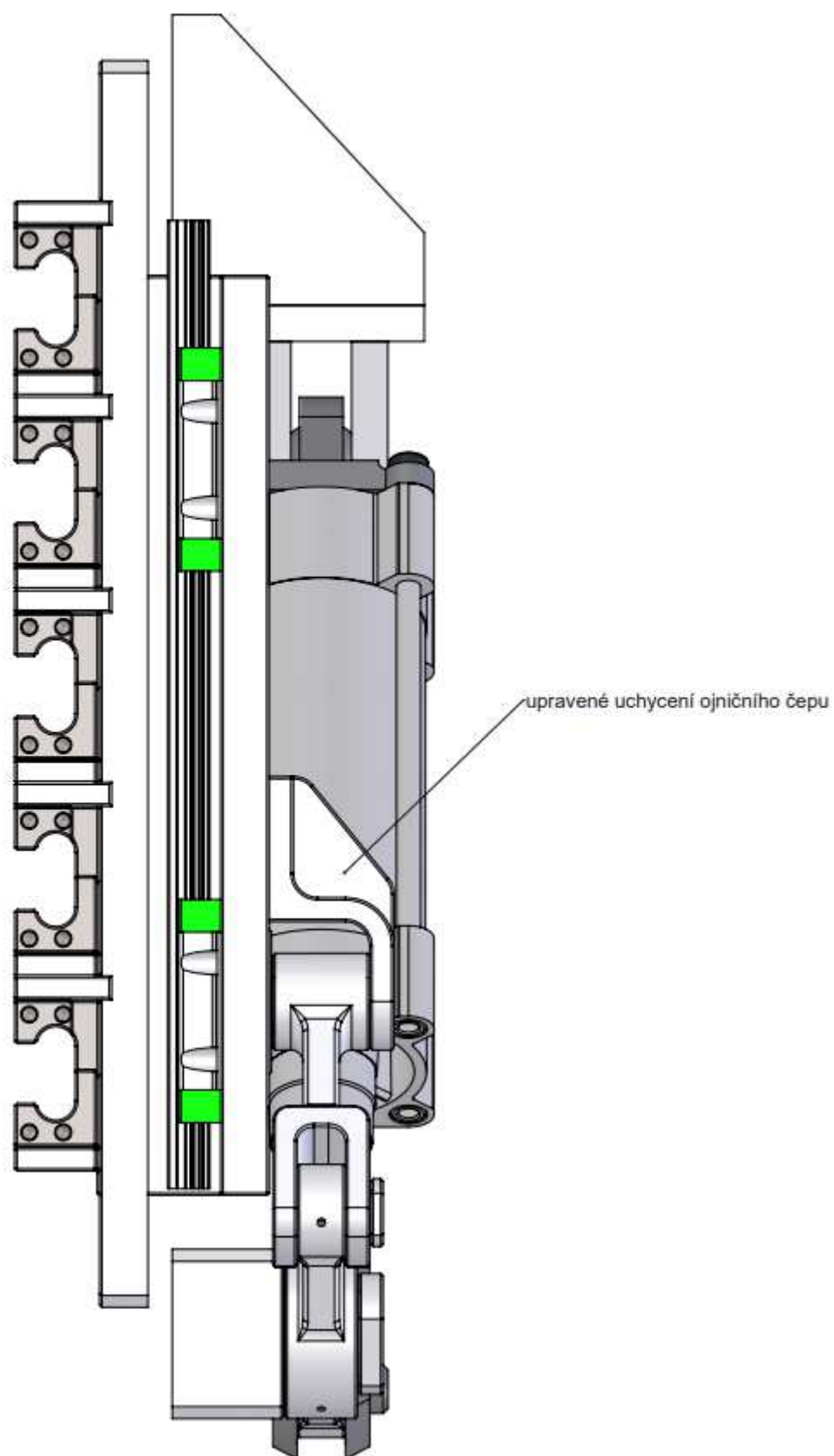
Spannbereich/3D Kontur
Diamantbeschichtet
Rz min 60/ Rz max 80 (D76)
Schichtdicke 0.1mm ± 0.02

Clamping Area / 3D contour
Diamond coated
Rz min 60 / Rz max 80 (D76)
Layer thickness 0.1 mm \pm 0.02

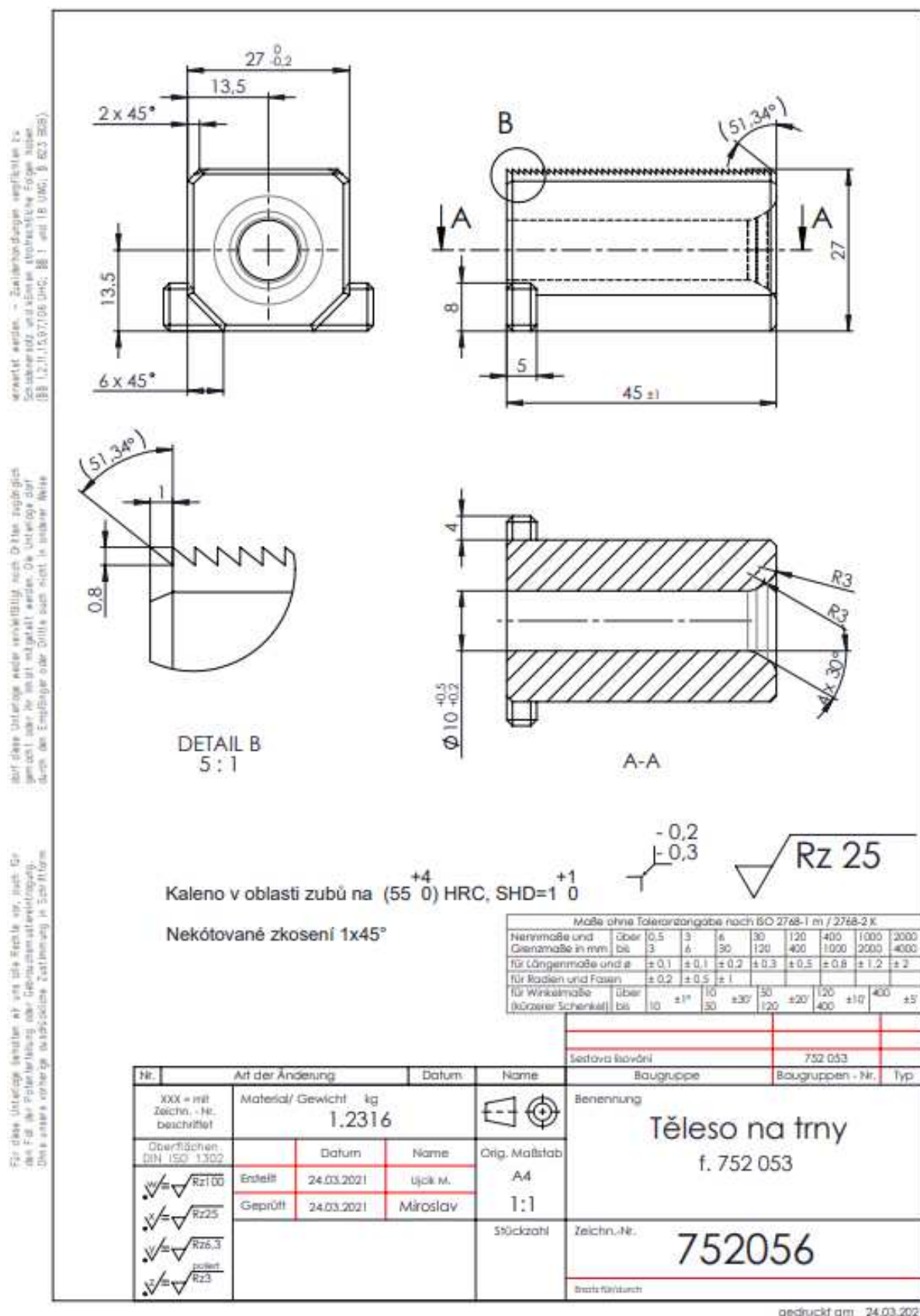
Maße ohne Toleranzangabe nach ISO 2768-1 m / 2768-2 κ										
Nennmaße und Grenzmaße in mm bis	0,5	3	6	30	120	400	1000	2000		
	3	6	30	120	400	1000	2000	4000		
	Für Längenmaße und e									
	Für Profile und Fasen									
± 0,2		± 0,5		± 1		± 0,5		± 0,8	± 1,2	± 2
± 10'		± 10'		± 10'		± 10'		± 10'	± 10'	± 15'
über		über		über		über		über	über	über
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10
10		10		10		10		10	10	10

gedruckt am 08.02.2019

P4 – Upravené uložení ojničního čepu



P5 – Toleranční pole těla pro trny

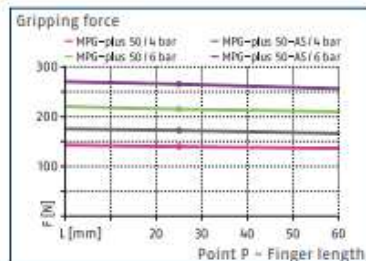


MPG-plus 50

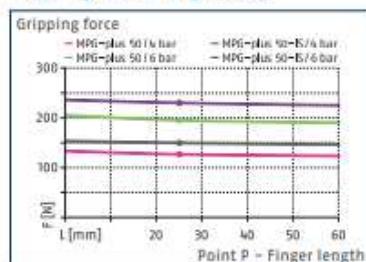
Gripper for small components



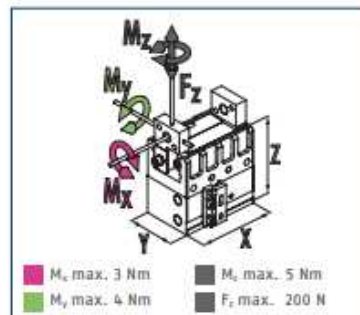
Gripping force O.D. gripping



Gripping force I.D. gripping



Dimensions and maximum loads



① The indicated moments and forces are static values, apply for each base jaw and should not appear simultaneously. Loads may additionally occur to the moment produced by the gripping force itself.

Technical data

Description		MPG-plus 50	MPG-plus 50-AS	MPG-plus 50-IS
ID		0305531	0305532	0305533
Stroke per jaw	[mm]	8	8	8
Closing/opening force	[N]	215/195	265/-	~1230
Min. spring force	[N]		50	35
Weight	[kg]	0.31	0.37	0.38
Recommended workpiece weight	[kg]	1.05	1.05	1.05
Fluid consumption double stroke	[cm ³]	8	17	15
Min./nom./max. operating pressure	[bar]	2/6/8	4/6/6.5	4/6/6.5
Closing/opening time	[s]	0.04/0.04	0.045/0.075	0.075/0.045
Closing/opening time with spring	[s]		0.30	0.30
Max. permissible finger length	[mm]	64	64	64
Max. permissible mass per finger	[kg]	0.14	0.14	0.14
IP protection class		30	30	30
Min./max. ambient temperature	[°C]	5/90	5/90	5/90
Repeat accuracy	[mm]	0.02	0.02	0.02
Dimensions X x Y x Z	[mm]	50 x 30 x 46	50 x 30 x 65.3	50 x 30 x 65.3
Options and their characteristics				
High-temperature version		39305531	39305532	39305533
Min./max. ambient temperature	[°C]	5/100	5/100	5/100
Precision version		0305536	0305538	0305539

P7 – Katalogový list robotu KUKA KR_10_R1440-2

KUKA



KR 10 R1440-2



Technical data

Maximum reach	1440 mm
Maximum payload	14.3 kg
Rated payload	10 kg
Rated supplementary load, rotating column / link arm / arm	0 kg / 0 kg / 10 kg
Pose repeatability (ISO 9283)	± 0.04 mm
Number of axes	6
Mounting position	Floor; Ceiling; Wall; Desired angle
Footprint	333.5 mm x 307 mm
Weight	approx. 153 kg

Axis data

Motion range	
A1	±170 °
A2	-185 ° / 65 °
A3	-137 ° / 163 °
A4	±185 °
A5	±120 °
A6	±350 °
Speed with rated payload	
A1	220 °/s
A2	210 °/s
A3	270 °/s
A4	361 °/s
A5	311 °/s
A6	472 °/s

Operating conditions

Ambient temperature during operation	0 °C to 55 °C (273 K to 328 K)
--------------------------------------	--------------------------------

Protection rating

Protection rating (IEC 60529)	IP65
Protection rating, in-line wrist (IEC 60529)	IP67

Controller

Controller	KR C5
------------	-------

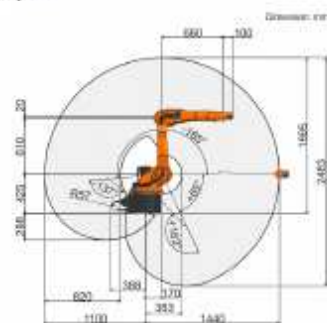
Certificates

ESD requirements	IEC61340-5-1; ANSI/ESD S20.20
------------------	-------------------------------

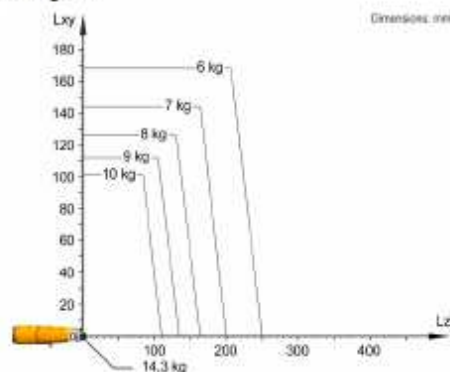
Teach pendant

Teach pendant	KUKA smartPAD-2
---------------	-----------------

Workspace graphic

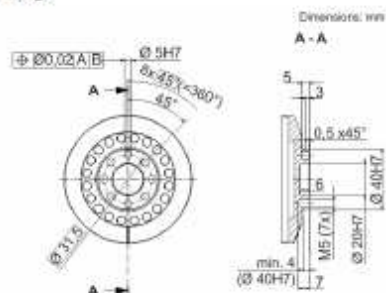


Payload diagram



The KR 10 R1440-2 is designed for a rated payload of 10 kg in order to optimize the dynamic performance of the robot. With reduced load center distances, higher loads up to the maximum payload may be used. The specific load case must be verified using KUKA.Load. For further consultation, please contact KUKA Support.

Mounting flange



P8 – Nebezpečí zmáčknutí při fixaci dílců

VUT v Brně, FSI, UVSSR		Formulář pro odhad rizika		Stroj: Robotizované pracoviště Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí:	Identifikační číslo:	Označení nebezpečí:			
1	1.1	Mechanické nebezpečí: Nebezpečí zmáčknutí při fixaci dílců			
Životní etapa stroje:	Provoz stroje				
Ohrožené osoby:	Obsluha stroje (supervizor pracoviště)				
Nebezpečný prostor:	Prostor lisu				
Popis nebezpečné situace/události:	Při pohybu fixace trubek dochází k vymezení prostoru mezi jednotlivými čelistmi do takové míry, že může dojít k vážnému poranění zmáčknutí prstů. Síla fixace je natolik velká, že může vlivem stlačení dojít k amputaci.				
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	11		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W3 - velká			
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci					
Popis opatření:	Zakládání pomocí efektoru robotu, oplocení prostoru. Zamezení kontaktu obsluhy s čelistmi.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S0 - nehrozí zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:		0		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:				
	Ppt. výskytu nebezpečné události:				
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana					
Popis opatření:	Neexistuje bezpečnostní ani doplňková ochrana.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S0 - nehrozí zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:		0		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:				
	Ppt. výskytu nebezpečné události:				
KROK 3: Informace pro používání					
Popis opatření:	Není vyžadována informace pro používání.				
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S0 - nehrozí zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:		0		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:				
	Ppt. výskytu nebezpečné události:				

P9 – Nebezpečí kontaktu s pohybujícím se robotem

VUT v Brně, FSI, UVSSR	Formulář pro odhad rizika		Stroj: Robotizované pracoviště Datum: 18.4.2021
Číslo nebezpečí: 2	Identifikační číslo: 1.2	Označení nebezpečí: Mechanické nebezpečí: Nebezpečí kontaktu s pohybujícím se robotem	
Životní etapa stroje:	Provoz stroje		
Ohrožené osoby:	Obsluha stroje/servis/údržba, ostatní pracovníci ve výrobní hale		
Nebezpečný prostor:	Prostor robotů		
Popis nebezpečné situace/události:	Při automatickém výrobním cyklu se robot pohybuje v různých směrech s velkými rychlostmi. Následkem kontaktu s člověkem může dojít ke zranění neslučitelným se životem.		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 - smrt	Velikost rizika 18
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W3 - velká	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření:	Oplocení prostoru v dostatečné vzdálenosti od robotů. Průplet jednotlivých částí dostatečně malý, aby nebylo možné prostrčit paži. Zamezení kontaktu obsluhy s rotobí.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S0 - nehrozí zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:		
	Ppt. výskytu nebezpečné události:		
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana			
Popis opatření:	Neexistuje bezpečnostní ani doplňková ochrana.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S0 - nehrozí zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:		
	Ppt. výskytu nebezpečné události:		
KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření:	Není vyžadována informace pro používání.		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S0 - nehrozí zranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:		
	Ppt. výskytu nebezpečné události:		

P10 – Nebezpečí naražení o oplocení

VUT v Brně, FSI, UVSSR		Formulář pro odhad rizika		Stroj: Robotizované pracoviště Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí:	Identifikační číslo:	Označení nebezpečí:			
3	1.3	Mechanické nebezpečí: Nebezpečí naražení o oplocení			
Životní etapa stroje:	Provoz stroje				
Ohrožené osoby:	Všichni pracovníci ve výrobním prostoru				
Nebezpečný prostor:	Celé pracoviště				
Popis nebezpečné situace/události:	Při pohybu v okolí pracoviště může dojít vlivem nepozornosti, vyhýbání si k naražení do oplocení.				
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	5		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední			
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci					
Popis opatření:	Neexistuje opatření zabudované v konstrukci.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	5		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední			
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana					
Popis opatření:	Reflexně odlišeny rohové profily oplocení, barevně vymezen prostor na zemi v rámci kterého je pracoviště umístěno.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	3		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 - možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední			
KROK 3: Informace pro používání					
Popis opatření:	Všeobecné bezpečnostní školení o pohybu v rámci výrobních prostorů. Pracovní obuv s tvrzenou špičkou.				
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	3		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 - možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední			

P11 – Nebezpečí při automatickém cyklu

VUT v Brně, FSI, UVSSR	Formulář pro odhad rizika		Stroj: Robotizované pracoviště Datum: 18.4.2021
Číslo nebezpečí: 4	Identifikační číslo: 1.4	Označení nebezpečí: Mechanické nebezpečí: Nebezpečí při automatickém cyklu	
Životní etapa stroje:	Provoz stroje, údržba/servis		
Ohrožené osoby:	Všichni pracovníci vstupující do prostoru robotizovaného pracoviště		
Nebezpečný prostor:	Celé pracoviště		
Popis nebezpečné situace/události:	Při automatickém cyklu hrozí mnohonásobné poranění v důsledku lisování, výměny nástrojů, spínání efektorů atd.		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 - smrt	Velikost rizika 17
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření:	Oplocení prostoru kotvené do podlahy zamezující jeho posunu.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 - smrt	Velikost rizika 16
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana			
Popis opatření:	Elektronicky zabezpečené vstupní dveře neumožňující vstup v průběhu automatického cyklu. Světelná signalizace upozorňující na probíhající výrobu.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika 4
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření:	Vstup do pracoviště v ručním režimu řízení nebo v režimu odpojení pracoviště. Výstražné nálepky upozorňující na nebezpečí zmáčknutí.		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika 3
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 - možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	

P12 – Nebezpečí při nastavování robotu

VUT v Brně, FSI, UVSSR		Formulář pro odhad rizika		Stroj: Robotizované pracoviště	
				Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí:	Identifikační číslo:	Označení nebezpečí:			
5	1.5	Mechanické nebezpečí: Nebezpečí při nastavování robotu			
Životní etapa stroje:	Údržba/servis				
Ohrožené osoby:	Údržba/servis, mechanici a elektrikáři				
Nebezpečný prostor:	Prostor robotů				
Popis nebezpečné situace/události:	Při nastavování a seřizování pozic, do kterých najíždí robot koncovým efektozem, může dojít k poranění zmáčknutím nebo naražením od robotu.				
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	11		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W3 - velká			
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci					
Popis opatření:	Neexistuje opatření zabudované v konstrukci.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	11		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W3 - velká			
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana					
Popis opatření:	Redukce rychlosti pohybu robotů při ručním řízení. Funkce bezpečnostního tlačítka na smartPAD. Blokové spuštění cyklu. Cedule upozorňující na prováděný servis.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	5		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W3 - velká			
KROK 3: Informace pro používání					
Popis opatření:	Vyžadováno profesní školení k manipulaci s roboty. Vyžadována vyhláška č. 50/1978 Sb. §5.				
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	3		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 - možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední			

P13 – Nebezpečí při ručním řízení stanice

VUT v Brně, FSI, UVSSR	Formulář pro odhad rizika		Stroj: Robotizované pracoviště Datum: 18.4.2021
Číslo nebezpečí: 6	Identifikační číslo: 1.6	Označení nebezpečí: Mechanické nebezpečí: Nebezpečí při ručním řízení stanice	
Životní etapa stroje:	Údržba/servis		
Ohrožené osoby:	Údržba/servis, mechanici a elektrikáři		
Nebezpečný prostor:	Celé pracoviště		
Popis nebezpečné situace/události:	Při nastavování pozic výměny nástrojů, testování pneumatických pohonů, krokových motorů a chapadel může dojít k poranění zmáčknutím, vtažením.		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění	Velikost rizika 10
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření:	Neexistuje opatření zabudované v konstrukci.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění	Velikost rizika 10
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana			
Popis opatření:	Povolené pouze vzdálené řízení z dotykového panelu. Označení míst s hrozícím nebezpečím zmáčknutí, vtažení. Blokové spuštění cyklu. Cedule upozorňující na prováděný servis.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika 4
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření:	Vyžadována vyhláška č. 50/1978 Sb. §5. Proškolení na prováděné servisní práce.		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika 2
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 - možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W1 - malá	

P14 – Nebezpečí úrazu elektrickým proudem

VUT v Brně, FSI, UVSSR	Formulář pro odhad rizika		Stroj: Robotizované pracoviště Datum: 18.4.2021
Číslo nebezpečí: 7	Identifikační číslo: 2.1	Označení nebezpečí: Elektrické nebezpečí: Nebezpečí úrazu elektrickým proudem	
Životní etapa stroje:	Provoz stroje, údržba/servis		
Ohrožené osoby:	Údržba/servis, elektrikáři, programátoři		
Nebezpečný prostor:	Celé pracoviště, rozvaděč, kabeláž		
Popis nebezpečné situace/události:	Hrozící těžké až smrtící poranění elektrickým proudem, ať už při manipulaci se silovou elektroinstalací, tak při případném zkratu.		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 - smrt	Velikost rizika 18
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W3 - velká	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření:	Zamezení přístupu do rozvaděče a k elektrickým částem.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 - smrt	Velikost rizika 17
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana			
Popis opatření:	Jištění a proudový chránič. Pravidelné el. revize. Zemnění všech potenciálně vodivých částí stroje. Bezpečnostní nálepky, označení rozvaděče, motorů.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění	Velikost rizika 7
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 - zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření:	Použití odizolovaného nářadí. Vyžadována vyhláška č. 50/1978 Sb. §5. Proškolení na prováděné servisní práce. Odborná způsobilost.		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika 1
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 - zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	

P15 – Nebezpečí popálení od pásu dopravníku

VUT v Brně, FSI, UVSSR	Formulář pro odhad rizika		Stroj: Robotizované pracoviště Datum: 18.4.2021
Číslo nebezpečí: 8	Identifikační číslo: 3.1	Označení nebezpečí: Tepelné nebezpečí: Nebezpečí popálení od pásu dopravníku	
Životní etapa stroje:	Provoz stroje		
Ohrožené osoby:	Všichni pracovníci ve výrobním prostoru		
Nebezpečný prostor:	Prostor dopravníku		
Popis nebezpečné situace/události:	Při kontinuálním chodu dopravníku může dojít k popálení o tento pás.		
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci			
Popis opatření:	Neexistuje opatření zabudované v konstrukci.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika 5
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 - sotva možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana			
Popis opatření:	Výstražné nálepky upozorňující na nebezpečí popálení při vtažení pásem. Vymezená zóna na podlaze v okolí dopravníku.		
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika 4
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední	
KROK 3: Informace pro používání			
Popis opatření:	Všeobecné předpisy o pohybu na firemních komunikacích a v prostoru strojů.		
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 - lehké zranění	Velikost rizika 2
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 - možné	
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W1 - malá	

P16 – Nebezpečí popálení od motorů

VUT v Brně, FSI, UVSSR		Formulář pro odhad rizika		Stroj: Robotizované pracoviště Datum: 18.4.2021	
Číslo nebezpečí:	Identifikační číslo:	Označení nebezpečí:			
9	3.2	Tepelné nebezpečí: Nebezpečí popálení od motorů			
Životní etapa stroje:	Provoz stroje				
Ohrožené osoby:	Všichni pracovníci ve výrobním prostoru				
Nebezpečný prostor:	Prostor dopravníku				
Popis nebezpečné situace/události:	Při dotyku motoru může dojít k popálení části končetiny.				
Počáteční riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 - těžké zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 - často až trvale	10		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 - zřídka možné			
	Ppt. výskytu nebezpečné události:	W2 - střední			
KROK 1: Opatření zabudovaná v konstrukci					
Popis opatření:	Oplocení prostoru.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S0 - nehrozí zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:		0		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:				
	Ppt. výskytu nebezpečné události:				
KROK 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochrana					
Popis opatření:	Bezpečnostní nálepky upozorňující na nebezpečí popálení.				
Snížené riziko po opatření	Závažnost možné škody na zdraví:	S0 - nehrozí zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:		0		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:				
	Ppt. výskytu nebezpečné události:				
KROK 3: Informace pro používání					
Popis opatření:	Není vyžadována informace pro používání.				
Zbytkové riziko	Závažnost možné škody na zdraví:	S0 - nehrozí zranění	Velikost rizika		
	Četnost a doba trvání ohrožení:		0		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:				
	Ppt. výskytu nebezpečné události:				